

ВЛАДИМИР СУРДИН

ПОНЯТНЫЙ КОСМОС

ОТ КВАРКА ДО КВАЗАРА



ТЕЗАУРУС АСТРОНОМА

ВЛАДИМИР СУРДИН

ПОНЯТНЫЙ КОСМОС

ОТ КВАРКА ДО КВАЗАРА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АСТ
МОСКВА

УДК 52
ББК 22.6
С90

Дизайн обложки *Виктора Чапурина*

В оформлении издания использованы иллюстрации Н. Л. Васильевой,
фотографии из архивов В. Г. Сурдина и NASA, ESA.

Сурдин, Владимир Георгиевич

С90 Понятный космос: от кварка до квазара / Владимир Сурдин. — 2-е изд.,
испр. и доп. — Москва : Издательство АСТ, 2023. — 384 с. — (История и наука
Рунета. Подарочное издание).

ISBN 1978-5-17-159905-8

«Понятный космос: от кварка до квазара» — это настольная энциклопедия, в которой содержатся развернутые объяснения терминов и понятий, используемых в современной астрономии и астрофизике, данные о звездах, планетах, галактиках и других небесных объектах. Из чего состоит Вселенная? Что такое черная дыра? Как светят звезды? Ответы на эти и многие другие вопросы подготовил российский астроном и просветитель Владимир Сурдин. Книга рассчитана на школьников, студентов, учителей и журналистов; многие ее статьи привлекут внимание продвинутых любителей астрономии и даже профессиональных ученых. Большинство данных приведено по состоянию на начало 2023 г.

УДК 52
ББК 22.6

ISBN 978-5-17-159905-8

© Сурдин В. Г., текст, фотографии, 2023
© Васильева Н. Л., иллюстрации, 2023
© ООО «Издательство АСТ», 2023

Введение

Сообщения об астрономических открытиях заполняют новостные ленты. Астрономия становится всё более популярной темой, на что указывают миллионные просмотры научно-популярных лекций в YouTube. Астрономия вновь стала обязательным предметом в старших классах средней школы и одним из любимых факультативных предметов во всех классах без исключения. Но те, кому выпало преподавать астрономию, а также те, кто увлекся ею как хобби, нуждаются в кратком и точном описании астрономических терминов и понятий. Только так мы сможем понять Вселенную.

Астрономия — наука древняя, поэтому её язык архаичен. «Слабость астрономии — вкладывать в простое слово древний смысл», — посетовал недавно один из читателей моих книг. Он запутался в астрономических терминах, приняв наблюдаемое «попятное движение» планеты за её реальное движение в обратном направлении. Что тут скажешь? Хотя в любой науке можно найти примеры устаревших и неоднозначных терминов (например, «плазма» в физике и в биологии — далеко не одно и то же), но всё же астрономия особенно богата атавизмами.

Хотя сегодня уже очевидно, что разбиение неба на созвездия, сохранение собственных имен звёзд, использование астрологических знаков для обозначения Солнца, Луны, планет и зодиакальных созвездий — всё это анахронизмы, но, к сожалению, до сих пор не было серьёзных попыток модернизировать язык астрономии. «Исторический хвост» этой науки, делающий её романтической в глазах неспециалистов, в действительности весьма заметно затрудняет контакты астрономии с другими, более молодыми, естественными дисциплинами — физикой, химией, биологией, — терминология которых приведена в более понятный и систематический вид.

«Зоопарк» астрономических объектов велик, и он постоянно расширяется: квазары, пульсары, магнитары, блазары... метеориты, метеоры, метеороиды... новые, сверхновые, гиперновые... мириды, цефеиды, персеиды, леониды... В астрономии много специфических слов. Одни из них обозначают типы объектов, другие — типы явлений. К сожалению, классификация астрономических объ-

ектов и явлений разработана слабо. Обилие специфических терминов затрудняет изучение астрономии. Многие учителя средней школы, чувствуя себя дилетантами в астрономии и не владея свободно её терминологией, предпочитают вообще не преподавать эту дисциплину школьникам, лишая их тем самым фундаментальных знаний об окружающем мире.

Разумеется, очень нелегко менять или модернизировать язык. Но через это проходили многие науки, и результат оправдывал временные трудности. Богатая история — это ещё и тяжёлый груз: астрономия ждёт своего Карла Линнея. Приблизив астрономическую систему классификации объектов к биологической, унифицировав терминологию с физической, введя более рациональные знаки, вероятно, можно было бы значительно упростить изучение астрономии и взаимный обмен информацией среди профессионалов. Возможно, при этом у астрономии исчезнет некоторый налёт романтизма. Но этот этап неизбежен в процессе эволюции любой науки. В конце концов, истинная романтика космоса — не в мифических именах планет и не в их загадочных «алхимических» знаках, а в сказочном разнообразии космических объектов и в гармонии законов, по которым они живут.

Модернизация языка науки происходит по мере необходимости. Не избежит этого и астрономия. А пока этого не произошло, всем, кто интересуется «наукой о звёздах», будет полезна эта книга. Ведь любая научная дискуссия, а особенно дискуссия, в которой участвуют специалисты разных наук, начинается с фразы: «Давайте определим понятия!» — то есть договоримся о значении слов. Ученые понимают: для конструктивного диалога важно, чтобы его участники в одни и те же слова вкладывали один и тот же смысл. Однако далеко не всегда это понимают специалисты других профессий, особенно сегодня, когда некоторые научные термины и обороты речи стали расхожими выражениями и потеряли свой строгий исходный смысл («формула», «теория», «катастрофа», «ученые доказали, что...» и т. п.). Более того, даже вполне чёткие астрономические понятия теперь часто претерпевают «абerrацию» и «обмениваются

смыслом»: многие не видят различия между астрономией и астрологией, звездой и планетой, метеором и метеоритом. Особенно печально, когда это наблюдается в профессиональной работе журналистов и переводчиков, растекаясь в средствах массовой информации.

Эта книга в основном рассчитана на школьников, студентов, учителей и журналистов. Однако многие её статьи привлекут внимание продвинутых любителей астрономии и даже профессиональных астрономов и физиков, поскольку большинство данных приведено на начало 2021 г. Отметим некоторые особенности этой книги.

1. Собранные здесь словарные статьи достаточно полно представляют терминологию современной астрономии. Тем не менее в некоторых узких разделах астрономии, таких как телескопостроение, астрохимия, астробиология, планетология и др., часто используются термины других дисциплин, которые не вошли в наше издание. Их следует искать в соответствующих справочниках и на специализированных интернет-сайтах, обращая особое внимание на уровень квалификации авторов статей.

2. Расположение статей — алфавитное. В большинстве составных терминов принят естественный порядок слов, т. е. такой же, как в речи и текстах книг, учебников и статей. Исключения сделаны в тех редких случаях, когда желательно для взаимного сравнения располагать статьи рядом. Например: *год аномалистический, год бесселев, год драконический, год звёздный, год тропический...*

3. Точное значение терминов обычно содержится в учебниках и специализированных справочниках, однако часто эти книги «отстают от жизни». Развитие науки регулярно приводит к рождению новых терминов, которые входят в международную практику обычно на английском языке. Их адекватный перевод на русский иногда появляется не сразу. Например, термину «brown dwarf» уже полвека, а до сих пор нет его однозначного эквивалента на русском: обычно говорят «коричневый карлик», но встречается и «бурый карлик». Термин «habitable zone» некоторые переводят как «обитаемая зона», а другие (в их числе и я) — как «зона возможной

жизни» или просто «зона жизни». Совершенно уникальный пример даёт термин «multiverse»: сейчас в ходу более дюжины (!) его русских переводов, из которых в качестве основного мы выбрали «сверхвселенная». Подобную неоднозначность всегда следует иметь в виду.

4. В тексте книги используются некоторые астрономические знаки: $M_{\odot}$ — масса Солнца, $L_{\odot}$ — светимость Солнца, $R_{\odot}$ — радиус Солнца. Запись типа $00^{\text{h}} 00^{\text{m}} 00^{\text{s}}$ означает время в часах, минутах и секундах (либо угол прямого восхождения в соответствующей часовой мере). Запись типа $00^{\circ} 00' 00''$ означает угол в градусах, минутах и секундах дуги. Запись типа 00^{m} означает блеск небесного светила в звёздных величинах. Буквенные сокращения объясняются ниже в разделе «Аббревиатуры».

5. В каждой профессии, в том числе и в каждой науке, есть свой сленг. Астрономия — не исключение. Профессионалы часто используют слова, имеющие для постороннего человека неоднозначный смысл: «слабая звезда» вместо «тусклая звезда», «стеклянная библиотека» вместо «архив фотопластинок», «щель башни» вместо «окно купола» и т. п. В этой книге я старался избегать профессионального сленга либо разъяснять его в подходящих случаях.

6. Здесь не указана литература, рекомендованная для дальнейшего изучения по темам конкретных статей, поскольку в эпоху развитого интернета это неактуально. Не указаны также использованные источники информации, поскольку указать их все было бы физически невозможно. Отмечу лишь, что в работе над текстом я опирался на наиболее качественные книги и сайты, а также пользовался консультациями коллег-астрономов. Фактически эта книга — результат коллективного труда лучших астрономов нашей страны и их зарубежных коллег, а роль автора в основном свелась к отбору и обновлению материала, а также к улучшению некоторых формулировок.

Поскольку при обзоре столь обширного материала трудно избежать неточностей, все сообщения о недостатках и ошибках будут с благодарностью приняты по адресу vsurdin@gmail.com и размещены на сайте <http://lnfm1.sai.msu.ru/~surdin>.

В. Г. Сурдин, ГАИШ МГУ, февраль 2021 г.

Аббревиатуры

Русские

а. е. м. — атомная единица массы.
АЗТ — астрономический зеркальный телескоп
АМС — автоматическая межпланетная станция
БПФ — быстрое преобразование Фурье
ГАИШ — Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (МГУ)
ГАО — Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
ГР-диаграмма, или диаграмма ГР, или диаграмма Г—Р, — диаграмма Герцшпрунга—Рассела
ЕКА — Европейское космическое агентство.
ИКИ — Институт космических исследований РАН
ИНАСАН — Институт астрономии Академии наук (РАН)
ИСЗ — искусственный спутник Земли.
К, К — кельвин, единица измерения температуры
кпк — килопарсек (англ. kpc)
КТХ — космический телескоп «Хаббл»
кэВ — килоэлектронвольт
ЛОМО — Ленинградское оптико-механическое объединение
М — каталог Мессье
МАС — Международный астрономический союз
МГУ — Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Мпк — мегапарсек; см. *Парсек*
МэВ — мегаэлектронвольт
НАСА — см. NASA
ОКПЗ — Общий каталог переменных звезд
ОСЗ — объекты, сближающиеся с Землей
ПЗС — прибор с зарядовой связью
пк — парсек (англ. pc)
ПОО — потенциально опасные объекты
РАН — Российская академия наук
РСДБ — радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой
САО РАН — Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук.
св. год — световой год
ФИАН — Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук
ФРТ — функции рассеяния точки (аппаратная функция)
ФЭУ — фотоэлектронный умножитель
эВ — электронвольт
ЭОП — электронно-оптический преобразователь

Английские

AAS — American Astronomical Society, Американское астрономическое общество
AAO — Australian Astronomical Observatory, Австралийская астрономическая обсерватория (в прошлом — Англо-Австралийская обсерватория, Anglo-Australian observatory)
AAVSO — American Association of Variable Star Observers, Американская ассоциация наблюдателей переменных звезд
ADC — Astronomical Data Center, Центр астрономических данных
AGS — Artificial Guide Star, искусственная опорная звезда
ALMA — Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array, Большая миллиметровая антенная решётка в Атакаме
ASA — American Standards Association, Американская ассоциация стандартов; светочувствительность фотоэмульсии
ASP — Astronomical Society of the Pacific, Тихоокеанское астрономическое общество
ATCA — Australia Telescope Compact Array, Австралийская компактная сеть радиотелескопов
AURA — Association of Universities for Research in Astronomy, Ассоциация университетов для астрономических исследований
B1950 — см. *Эпоха; Год, бесселев*
BD — Bonner Durchmusterung, Боннское обозрение
C-band — рентгеновский диапазон спектра с длинами волн от 5 до 10 нм
CBAT — Central Bureau for Astronomical Telegrams, Центральное бюро астрономических телеграмм
CDS — Centre de Données astronomiques de Strasbourg, Центр астрономических данных в Страсбуре (Франция)
CFHT — Canada-France-Hawaii telescope, Канадо-франко-гавайский телескоп
CHARA — Center for High Angular Resolution Astronomy, Центр астрономии высокого углового разрешения
CNES — Centre National d'Etudes Spatiales, Национальный центр космических исследований Франции
COAST — Cambridge optical aperture synthesis array, Система оптического апертурного синтеза Кембриджа
CSA — Canadian Space Agency, Канадское космическое агентство

- CTIO — Cerro Tololo Inter-American Observatory, Межамериканская обсерватория Сьерро-Тололо
- Dec — Declination, склонение
- ESO — European Southern Observatory, Европейская южная обсерватория
- ESA — European Space Agency, Европейское космическое агентство
- FITS — Flexible Image Transport System, формат электронных изображений
- GIF — Graphics Interchange Format, формат электронных изображений
- GMT — Greenwich Mean Time, среднее гринвичское время (Всемирное время)
- GSC — Guide Star Catalog, Каталог гидировочных звезд
- GSD — Greenwich Siderial Date, гринвичская звёздная дата
- HD — HD catalog, каталог HD, каталог Генри Дрэпера
- HET — Hobby-Eberly Telescope, телескоп Хобби — Эберли
- HIPPARCOS — High Precision PARallax COLlecting Satellite, см. *Каталог ГИППАРКОС*
- HJD — Heliocentric Julian Date, гелиоцентрическая юлианская дата
- HST — Hubble Space Telescope (NASA), космический телескоп «Хаббл»
- HWHM — Half-Width at Half-Maximum, Полуширина на уровне половины от максимума, см. *Полная ширина на половине от максимума*
- IAC — Instituto de Astrofísica de Canarias (исп.), Институт астрофизики на Канарских островах
- IBVS — Information Bulletin on Variable Stars, Информационный бюллетень переменных звёзд
- IC — Index catalog, Индекс каталог
- IDA — International Dark sky Association, Международная ассоциация тёмного неба
- IRAF — Image Reduction and Analysis Facility, средство редукции и анализа изображений
- J2000 — см. *Эпоха*
- JD — Julian Day, юлианский день; Julian Date, юлианская дата
- JPEG — Joint Photographic Experts Group, формат электронных изображений
- JPL — Jet Propulsion Laboratory, Лаборатория реактивного движения
- LBT — Large binocular telescope, Большой бинокулярный телескоп
- LGS — Laser Guide Star, Лазерная опорная звезда, см. *Искусственная опорная звезда*.
- LIGO — Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, Лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория.
- LMC — Large Magellanic Cloud, Большое Магелланово Облако, см. *Магеллановы Облака*
- LZT — Large Zenith Telescope, Большой зенитный телескоп
- MACHO — Massive Compact Halo Objects, Массивные компактные объекты гало
- MERLIN — Multi-Element Radio-Linked Interferometer Network, Многоэлементная интерферометрическая сеть с радиосвязью
- NASA — National Aeronautic and Space Administration, Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства
- NED — NASA extragalactic database, База данных внегалактических объектов NASA
- NG — N-galaxy, N-галактика
- NGC — New General Catalog, Новый общий каталог
- NGST — Next Generation Space Telescope, Космический телескоп следующего поколения
- NOAO — National Optical Astronomy Observatories, Национальные обсерватории оптической астрономии
- NSSDC — National Space Science Data Center, Национальный центр космических данных
- NTT — New Technology Telescope, Телескоп новой технологии
- PASP — Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Публикации Тихоокеанского астрономического общества
- RA — Right Ascension, Прямое восхождение
- RAS — Royal Astronomical Society, Королевское астрономическое общество
- RGO — Royal Greenwich observatory, Королевская Гринвичская обсерватория
- ROE — Royal observatory, Edinburgh, Королевская обсерватория в Эдинбурге
- SALT — South African large telescope, Большой южно-африканский телескоп
- SAO — Смитсоннианская астрофизическая обсерватория
- SAR — Synthetic Aperture Radar, Радар с синтезируемой апертурой

S-band — радиодиапазон спектра в области длины волны 13 см
 SIMBAD — Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data, База обозначений, измерений и библиография астрономических данных. Постоянно пополняемая база данных в Центре астрономических данных в Страсбуре (Франция), включающая информацию о более чем 3 млн астрономических объектов. Адрес: <http://simbad.u-strasbg.fr/Simbad>
 SMC — Small Magellanic Cloud, Малое Магелланово Облако, см. *Магеллановы Облака*.
 TAI — Temps Atomique International (франц.), Международное атомное время
 TIFF — Tagged Image File Format, формат электронных изображений
 UKIRT — UK InfraRed Telescope, Британский инфракрасный телескоп
 UKST — UK Schmidt telescope, Британский телескоп системы Шмидта (Британская камера Шмидта)

USNO — United States Naval observatory, Морская обсерватория США
 UT — Universal time, Всемирное время
 UTC — Universal coordinated time, Всемирное координированное время
 VLA — Very Large Array, Очень большая (антенная) решётка
 VLBA — Very-Long-Baseline Array, Антенная решётка со сверхдлинными базами
 VLBI — Very-Long-Baseline Interferometry, Радиointерферометрия со сверхдлинной базой
 VLT — Very Large Telescope, Очень большой телескоп ESO
 WHT — William Herschel Telescope, телескоп «Вильям Гершель»
 WIMP — Weakly Interacting Massive Particles, слабо взаимодействующие массивные частицы
 X-band — радиодиапазон спектра в области длины волны 3,5 см

Астрономические величины и их обозначения

Величина	Обозначение	Значение
Радиус Солнца	$R_{\odot}$	$6,96 \cdot 10^8 \text{ м} \approx 109 \text{ радиусов Земли}$
Масса Солнца	$M_{\odot}$	$1,989 \cdot 10^{30} \text{ кг} \approx 333\,000 \text{ масс Земли}$
Светимость Солнца	$L_{\odot}$	$3,85 \cdot 10^{26} \text{ Вт} = 3,85 \cdot 10^{33} \text{ эрг/с}$
Парсек	1 пк	$3,0857 \cdot 10^{16} \text{ м} \approx 206\,265 \text{ а. е.} \approx 3,262 \text{ св. года}$
Астрономическая единица	1 а. е.	$149\,597\,870 \text{ км} \approx 499 \text{ св. с} \approx 8,32 \text{ св. мин}$
Световой год	1 св. год	$1 \text{ св. год} = 9,46 \cdot 10^{15} \text{ м} = 0,3066 \text{ пк}$
Средний радиус Земли	R	6371 км
Масса Земли	M	$5,97 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

Напутствие

В любой науке, и астрономия не исключение, внимательно относятся к смыслу слов. Например, если сказано, что космический аппарат «вышел на орбиту Земли» (Марса, Юпитера и т. п.), это значит, что он, как и указанная планета, обращается вокруг Солнца. А чтобы сообщить, что он обращается вокруг планеты, нужно сказать «вышел на орбиту вокруг Земли» или же «...на околоземную орбиту». То же с Луной («на окололунную орбиту») и другими телами. Кстати, глаголы «вращаться» и «обращаться» в астрономии имеют разный смысл.

Внимательно следите за словами! Вылетит — не поймает!

А

АБАСТУМАНСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — см. *Грузинская национальная астрофизическая обсерватория*.

АБЕРРАЦИЯ ОПТИЧЕСКАЯ, точнее — абберация оптической системы (от лат. *aberratio* — уклонение) — искажение изображения, построенного оптическим прибором, когда оптические изображения неточно соответствуют предмету, оказываются размыты (монохроматические геометрические абберации) или окрашены (хроматические абберации). Как правило, абберации обоих типов проявляются одновременно.

В приосевой (параксиальной) области оптическая система близка к идеальной: точка изображается точкой, прямая линия — прямой и плоскость — плоскостью. Но при конечной ширине пучков и конечном удалении точки-источника от оптической оси эти правила нарушаются: лучи, испускаемые точкой предмета, не пересекаются в одной точке плоскости изображений, а образуют кружок рассеяния.

В зависимости от причины и характера искажения различают пять геометрических аббераций и две хроматические. Геометрические абберации, искажающие подобие между объектом и его изображением, — это кривизна поля, кома, дисторсия, астигматизм и сферическая абберация. В отличие от них, хроматические абберации возникают и в параксиальной области.

Полностью устранить абберации в одном инструменте практически невозможно, поэтому, в зависимости от его назначения, исправляются в большей или меньшей степени одни или другие абберации (см. *Анастигмат*, *Апохромат*, *Ахромат*).

АБЕРРАЦИЯ СВЕТА (англ. *aberration of light*) — изменение направления распространения излучения при переходе от одной системы отсчёта к другой. В астрономии этот эффект проявляется как смещение направления на светило, вызванное движением наблюдателя — например, вместе с движущейся Землёй. Нередко вместо термина «абберация света» астрономы используют термин «звёздная абберация» (англ. *stellar aberration*).

Хотя абберация света — явление релятивистское, для его наглядного представления вполне годится модель классического сложения скоростей. Современное физическое объяснение опирается на постулат о неизменности скорости света. Если v — скорость наблюдателя, а c — скорость света, причём $v \ll c$, то направление прихода света для этого наблюдателя изменяется на угол в радианах $\alpha \approx (v/c) \sin \theta$, где θ — исходный угол, образуемый направлением распространения света с направлением движения. Из-за абберации наблюдатель видит источник света смещённым к апексу своего движения на угол α . Иными словами, изображение светила всегда смещается в направлении движения.

В астрономии абберация света приводит к тому, что положение звёзд на небе меняется из-за движения наблюдателя вместе с Землёй. Например, обращение Земли вокруг Солнца вызывает годичную абберацию (англ. *annual aberration*), вследствие которой в течение года все объекты описывают на небесной сфере небольшие эллипсы с большой полуосью $20,5''$. Форма эллипса зависит от эклиптической широты звезды. Если звезда находится точно в полюсе эклиптики, а значит, её лучи постоянно перпендикулярны к плоскости земной орбиты, она будет в течение всего года казаться отстоящей от своего истинного положения на $20,5''$. То есть наблюдатель на Земле будет видеть, что за год она описывает маленький круг диаметром $41''$. Для прочих звёзд этот кажущийся путь будет не окружностью, а эллипсом, большая ось которого параллельна большой оси эклиптики, наблюдаемой от этих звёзд, а малая ось тем меньше, чем ближе звезда к эклиптике. Если звезда ле-



С точки зрения движущегося наблюдателя направление потока меняется.

жит на самой эклиптике, её годовое движение вследствие абберрации представится в виде прямой линии, параллельной эклиптике, и по этой прямой звезда идёт то в одну сторону, то в другую.

Кроме годичной абберрации, в астрономии принимаются в учёт и другие явления, связанные с абберацией света.

В результате вращения Земли наблюдается «суточная абберрация» (англ. *diurnal aberration*). С периодом в звёздные сутки скорость наблюдателя меняется не более чем на 463 м/с (если наблюдатель находится на экваторе), что приводит к суточной абберрации с амплитудой не более 0,32".

В понятие «планетная абберрация» входит видимое смещение источника света, вызванное не только его движением относительно наблюдателя, но также изменением его положения в пространстве за время распространения света от него до наблюдателя. Это связано с тем, что расстояние между Землёй и объектами Солнечной системы изменяется быстро и относительно сильно, тогда как для далёких объектов относительное изменение расстояний мало, отчего и изменение направлений на них, связанное с временем распространения света, практически незаметно.

Отдельным понятием считается годичная абберрация Солнца, направление которой в некотором смысле не меняется: смещение на угол 20,5" (если считать земную орбиту круговой) всегда направлено на запад. В зависимости от выбранной системы отсчёта это явление можно интерпретировать и по-другому: смещение (отставание изображения Солнца от его реального положения) возникает из-за времени распространения света от Солнца до Земли (8,32 минуты). Действительно, за это время, учитывая орбитальную скорость Земли (30 км/с), её положение относительно Солнца изменится на $8,32 \text{ мин} \times 30 \text{ км/с} = 15 \text{ тыс. км}$. Это приводит к угловому смещению изображения Солнца на $15 \text{ тыс. км} / 150 \text{ млн км} = 10^{-4} \text{ рад} = 20,5''$, т. е. как раз на угол годичной абберрации. Похожая ситуация возникает и с годичным параллаксом Солнца: формально он равен 360° , что иначе называется движением Солнца по эклиптике.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — мера истинной мощности излучения небесного объекта. Определяется как видимая звёздная величина светила (обычно звезды или галактики), которую оно имело бы при его наблюдении с расстояния в 10 пк при отсутствии межзвёздного поглощения (см. *Звёздная величина*). В формулах обычно обозначается латинской буквой M , часто с указанием спектрального диапазона в виде индекса. Например, M_V , M_B и т. п. (см. *Фотометрическая система*).

Абсолютная звёздная величина некоторых типичных объектов

Объект	M_V
Сверхновая типа Ia	-19,4
Бетельгейзе (α Ori)	-5,0
Сириус A	+1,42
Солнце	+4,82
Тусклые белые карлики	+16
Юпитер в полной фазе	+26

Если m — видимая звёздная величина, M — абсолютная звёздная величина, r — расстояние в парсеках, $A(r)$ — межзвёздное поглощение света, выраженное в звёздных величинах и в среднем зависящее от расстояния до объекта, но также и от направления на него (поскольку распределение пыли в межзвёздном пространстве весьма неоднородно), то

$$M = m + 5 - 5 \lg r - A(r).$$

Отношение светимостей L_1 и L_2 двух объектов, имеющих абсолютные звёздные величины M_1 и M_2 , можно вычислить по формуле

$$\lg(L_1/L_2) = 0,4(M_2 - M_1),$$

не забывая, что эти величины должны относиться к одному и тому же спектральному диапазону. Например, светимость звезды в фильтре V по отношению к Солнцу вычисляется по её абсолютной величине в этом фильтре:

$$\lg(L_V/L_{V\odot}) = 0,4(4,82 - M_V) = 1,93 - 0,4M_V,$$

где светимость Солнца в фильтре V составляет $L_{V\odot} = 3,58 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА АСТЕРОИДА (M) — звёздная величина астероида, какой она была бы при его расстоянии от Земли и от Солнца в 1 а. е. Освещённость

от астероида на Земле можно представить как

$$F = F_0 / (r^2 \Delta^2),$$

где r — расстояние от Солнца, Δ — расстояние от Земли, F_0 — значение F при $r = \Delta = 1$ а. е. При этом его видимая звёздная величина составит

$$m = M + 5 \lg r + 5 \lg \Delta.$$

Для известных астероидов $M \geq 3^m$.

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА КОМЕТЫ (H_0) — звёздная величина головы кометы, которую она имела бы, находясь от Земли и от Солнца на расстояниях в 1 а. е. Для вычисления абсолютной величины кометы недостаточно, как, например, в случае астероида, знать видимый блеск (m) и расстояния от Земли (Δ) и от Солнца (r): требуется ещё сделать предположение о том, как зависит «светимость» кометы от её расстояния до Солнца. Для твёрдого тела с неизменными свойствами поверхности (астероид) эта зависимость чисто геометрическая: мощность рассеянного им солнечного света пропорциональна r^{-2} . Но свойства кометы — размер и плотность её головы — меняются сложным образом. В общем случае «светимость» кометы можно представить как $\sim r^{-n}$, причём из наблюдения за различными кометами получают $2 < n < 6$. Среднее по многим наблюдениям значение $n = 4$; его и принимают для вычисления абсолютных звёздных величин комет по формуле

$$H_0 = m - 2,5 n \lg r - 5 \lg \Delta = m - 10 \lg r - 5 \lg \Delta.$$

Для разных комет она варьирует от -3^m (комета 1729 г.) через $4,6^m$ (комета Галлея 1910 II) до $+15^m$ (самые слабые из открываемых комет).

АБСОЛЮТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА МЕТЕОРА (M) — блеск метеора, каким он был бы виден с расстояния 100 км, будучи расположен в зените:

$$M = m - 5 \lg (R/100 \text{ км}) - K,$$

где R — истинное расстояние до метеора, K — поправка за экстинкцию (редукция к зениту).

АДАПТАЦИЯ ЗРЕНИЯ К ТЕМНОТЕ — физиологическое явление (известное также как ночное зрение), благодаря которому чувствительность зрения увеличивается в десятки раз после пребывания в темноте в те-

чение нескольких минут. Наиболее известным механизмом адаптации к темноте является увеличение размера зрачка глаза. Средний диаметр зрачка при ярком освещении составляет 2–3 мм; в темноте зрачок за несколько секунд расширяется, и его диаметр возрастает у людей среднего возраста до 6–7 мм (у молодых людей немного больше, у пожилых — меньше), что увеличивает количество пропускаемого света в 7–8 раз. Однако основной механизм адаптации более сложен и связан с физиологическими процессами в сетчатке глаза.

Сетчатка устлана мельчайшими светочувствительными клетками — палочками и колбочками; палочек приблизительно в 20 раз больше. Палочки распределены по всей сетчатке (кроме центральной ямки), колбочки сконцентрированы в области жёлтого пятна сетчатки. Палочки и колбочки по-разному реагируют на свет: палочки чувствительнее колбочек и обеспечивают чёрно-белое зрение, а колбочки имеют невысокую чувствительность, но позволяют различать цвета. Есть три типа колбочек, отвечающих за восприятие синего, зелёного и жёлто-красного участков спектра. При поглощении света в палочках происходит расщепление молекул родопсина, которым богаты палочки. При ярком освещении родопсин быстро расходуется, поэтому в основном работает колбочковое (цветное) зрение. В полной темноте родопсин восстанавливается в течение примерно 20 минут. После полного восстановления родопсина чувствительность палочек приблизительно в 100 раз превышает чувствительность колбочек. Таким образом, после адаптации к темноте глаз способен воспринимать сравнительно малые световые потоки, но теряет возможность различать цвета.

Если зрение адаптировалось к темноте, то даже кратковременное яркое освещение приводит к быстрому израсходованию родопсина. Поэтому для сохранения адаптации к темноте наблюдатели предпочитают работать при очень слабой подсветке или даже совсем без неё. Известно, что граничная длина волны, до которой палочки ещё воспринимают свет, составляет приблизительно 600 нм, в то время как колбоч-

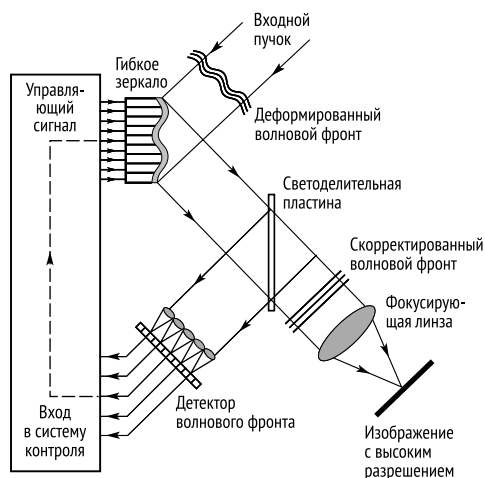
ки, воспринимающие жёлто-красные лучи, реагируют на излучение с длиной волны до 700 нм. Поэтому при наблюдениях можно использовать тёмно-красную подсветку без нарушения адаптации к темноте.

АДАПТИВНАЯ ОПТИКА — метод исправления атмосферных искажений изображения при астрономических наблюдениях, позволяющий повысить угловое разрешение крупного наземного телескопа вплоть до теоретически возможного предела.

Проходя сквозь неоднородную турбулентную атмосферу, плоский волновой фронт света теряет свою форму, при этом изображение даже в идеальном телескопе утрачивает резкость и дрожит. Для восстановления плоской формы волнового фронта обычно используется небольшое вторичное «мягкое» зеркало, управляемое компьютером и с высокой частотой (до 1 кГц) изменяющее свою форму. Необходимым условием для работы системы адаптивной оптики является наличие по соседству с изучаемым объектом достаточно яркого точечного источника — опорной звезды. Управляющая программа с помощью детектора волнового фронта анализирует изображение одиночной звезды и, регулируя форму мягкого зеркала, добивается того, чтобы её изображение приняло идеальный, точечный вид. Если это удаётся, то становятся более чёткими изображения и всех других объектов, наблюдаемых вблизи этой опорной звезды в пределах области изопланатизма (см. *Область изопланатизма*). Эффективность системы адаптивной оптики определяется числом Штреля (см. *Число Штреля*).

В качестве детектора искажений, вносимых атмосферой в волновой фронт излучения опорной звезды, обычно используют датчик Гартмана, содержащий матрицу из микролинз, расположенную в выходном зрачке телескопа. Например, у 8,2-м телескопов VLT это матрица 30×30 . Каждая микролинза строит отдельное изображение звезды на ПЗС-приёмнике. Смещения мгновенного фотоцентра каждого изображения указывают наклон волнового фронта в данном месте входной апертуры.

Для быстрого анализа изображения опорной звезды она должна быть весьма яр-



Принципиальная схема адаптивной оптической системы телескопа

кой, ведь свет от неё делится датчиком Гартмана на много частей и положение каждого созданного им изображения определяются сотни и даже тысячи раз в секунду. Поскольку в поле зрения телескопа редко встречаются яркие звезды, во многих системах адаптивной оптики имеется возможность зажигать «искусственную звезду». При этом используется тот факт, что слои земной атмосферы на высоте около 90 км обогащены атомами натрия. С помощью мощного лазера в поле зрения телескопа на этой высоте возбуждается свечение натрия, т. е. создаётся маленькое яркое пятно, играющее роль искусственной опорной звезды.

Система активной оптики жизненно необходима для работы наземного оптического интерферометра, поскольку длина когерентности света после его прохождения через атмосферу составляет всего около 10 см.

АДИАБАТИЧЕСКИЕ ФЛУКТУАЦИИ (в космологии) — один из возможных типов малых нарушений однородности Вселенной, привлекаемых для объяснения происхождения её наблюдаемой структуры: галактик, их скоплений и сверхскоплений. Адиабатические флуктуации присутствуют, вероятно, уже на самых ранних стадиях эволюции Вселенной — вблизи космологической сингулярности. Они представляют собой неоднородности плотности и потенциальные возмущения скорости вещества, которые нарушают однородное и изотропное

расширение Вселенной и, нарастая под действием сил тяготения, приводят к образованию гравитационно обособленных космических тел.

АДРОНЫ (от греч. *hadros* — большой, сильный) — семейство элементарных частиц, участвующих в сильном ядерном взаимодействии. К адронам относятся все барионы (в том числе нуклоны — протон и нейтрон), мезоны (включая мезонные резонансы) и соответствующие античастицы. Термин «адрон» предложил Л. Б. Окунь в 1967 г.

Адроны обладают сохраняющимися в процессах сильного взаимодействия квантовыми числами: странностью, очарованием, красотой и др. В свободном состоянии все адроны (за исключением, возможно, протона) нестабильны.

Все адроны — составные частицы. Большинство известных барионов состоит из трёх кварков, антибарионы — из трёх антикварков, а мезоны — из кварка и антикварка. Связь между кварками в адронах осуществляется глюонами. Составляющие адрона — кварки и глюоны — обладают цветовым зарядом, который полностью компенсируется внутри адрона, так что сами адроны цветовым зарядом не обладают и являются «бесцветными». Теория сильного взаимодействия — квантовая хромодинамика — предсказывает, что при высоких температурах и/или плотностях адронная материя должна превращаться в цветовую плазму кварков и глюонов. Поэтому, по современным представлениям, в так называемую адронную эру на ранних (до 10^{-5} с) стадиях эволюции Вселенной в равновесии с излучением находились не адроны, а плазма кварков, антикварков и глюонов.

АЗИМУТ (араб. *ас-сумут* направление) — одна из двух координат в горизонтальной системе небесных координат, измеряемая углом между небесным меридианом наблюдателя и вертикальным кругом, проходящим через небесный объект. Проще говоря, это угол, отсчитываемый вдоль линии горизонта, между некоторым фиксированным направлением (стороной света) и вертикальной проекцией небесного объекта на горизонт. В записях и формулах азимут обозначается буквой *A*.

Астрономы традиционно отсчитывают азимут от точки юга к западу, от 0° до 360° . Например, азимуты точек юга, запада, севера и востока составляют соответственно 0° , 90° , 180° и 270° . Иногда азимут отсчитывают от 0° до 180° к западу со знаком «+» (западные азимуты) и от 0° до 180° к востоку со знаком «-» (восточные азимуты). В отличие от астрономов, геодезисты и географы отсчитывают азимут от точки севера к востоку, поэтому астрономический и геодезический азимуты могут различаться на 180° . Иногда геодезисты используют магнитный азимут, опорное направление для которого задаёт северный конец стрелки магнитного компаса. В последние годы астрономы тоже начинают (особенно в компьютерных программах) отсчитывать азимут от точки севера. Поэтому во избежание недоразумений необходимо, указывая значение азимута, уточнять, от какой точки и в каком направлении он измерен.

АКВАРИДЫ — метеорный поток. Точнее, под этим названием фигурируют три различных метеорных потока: η -Аквариды, δ -Аквариды N и δ -Аквариды S. Поток η -Аквариды (η -Аквариды) наблюдается между 24 апреля и 20 мая с максимумом 4–5 мая. Это метеорный поток средней мощности, связанный с кометой 1P/Галлея. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^h 20^m$ и $\delta = 0^\circ$. Средняя частота появления метеоров в максимуме (*N*) около 20 в час. Метеоры очень быстрые: геоцентрическая скорость частиц 65 км/с. Дельта-Аквариды Северные (δ -Аквариды N) наблюдаются между 14 июля и 25 августа с пиком в районе 12 августа. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^h 22^m$ и $\delta = -5^\circ$. *N* = 10/час. Дельта-Аквариды Южные (δ -Аквариды S) наблюдаются между 14 июля и 20 августа со слабо выраженным пиком в районе 28 июля. Его радиант расположен в точке с $\alpha = 22^h 36^m$ и $\delta = -17^\circ$. *N* = 20/час.

АККРЕЦИОННЫЕ ДИСКИ — вращающиеся диски, образуемые диффузным веществом в процессе его аккреции на массивные космические объекты. Причина образования диска — сохранение момента импульса падающего вещества, приводящее к росту угловой и линейной (трансверсальной) ско-

рости вещества по мере его приближения к центру тяготения. Это, в свою очередь, приводит к росту центробежной силы, которая на некотором расстоянии от объекта практически уравнивает его силу тяготения и превращает свободное падение вещества в медленное приближение по спирали.

АККРЕЦИЯ (англ. *accretion* прирост, присоединение) — выпадение рассеянного вещества из окружающего пространства на космическое тело — планету, звезду, галактику. В процессе аккреции происходит выделение гравитационной энергии, которая превращается в тепло и в итоге уходит в виде излучения. При наличии межзвёздного газа естественно ожидать, что его притяжение звёздами будет вызывать аккрецию этого газа на их поверхность. Однако для обычных звёзд характерна не аккреция, а, наоборот, истечение вещества с поверхности (звёздный ветер). Истекающее вещество и давление излучения звезды выталкивают разреженный межзвёздный газ из окрестностей звезды и препятствуют аккреции. Но если рядом со звездой окажется обильный источник газа, то ситуация может измениться. Например, притяжение звезды может вызвать аккрецию газа из верхних слоёв атмосферы соседней звезды — близкого компаньона по двойной системе. Особенно активно это происходит в тесных двойных системах, где один из компонентов — ком-

пактный остаток звёздной эволюции: белый карлик, нейтронная звезда или чёрная дыра. На сверхмассивные чёрные дыры в ядрах галактик также происходит аккреция межзвёздного газа, вещества разрушенных и, вероятно, даже целых звёзд, если плотность их вещества достаточно высока. Как правило, при аккреции значительная доля гравитационной энергии падающего вещества выделяется в виде излучения: вещество нагревается при ударе о поверхность звезды или в результате взаимного трения слоёв в аккреционном диске. Процесс аккреции отвечает за свечение рентгеновских источников в тесных двойных системах, активных ядер галактик и квазаров.

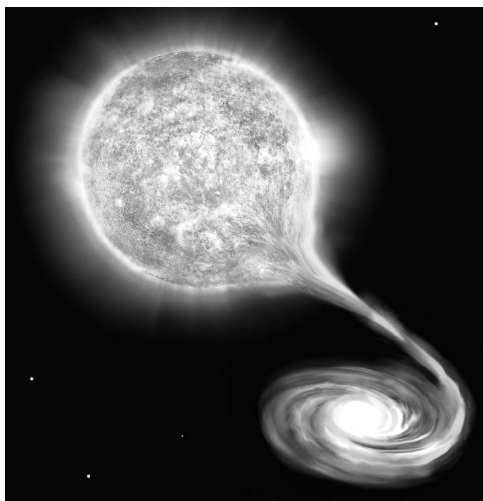
АКРОНИЧЕСКИЙ ВОСХОД (лат. *acronychus*, от греч. *acros* — верх, край и *nix* — ночь) — появление звезды над горизонтом на востоке при заходе Солнца (восход в лучах вечерней зари).

АКСИОН — гипотетическая сверхлёгкая нейтральная частица. До сих пор не зарегистрирована экспериментально. Одна из возможных составляющих скрытой массы Вселенной, т. е. тёмной материи.

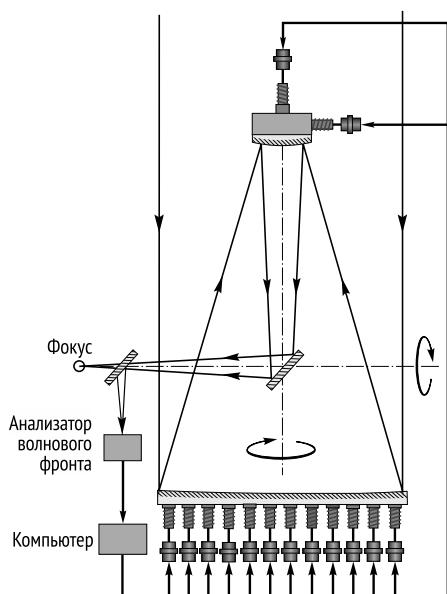
АКТИВНАЯ ОПТИКА — методика поддержания идеальной формы главного зеркала и правильного расположения основных оптических элементов телескопа-рефлектора.

Главная особенность современных астрономических систем активной оптики — линия обратной связи, позволяющая контролировать качество изображения и при необходимости исправлять его, меняя форму главного зеркала при помощи управляемых компьютером упоров-актюаторов и перемещающая вторичное зеркало.

При наличии системы активной оптики требования к главному зеркалу телескопа меняются принципиально: оно должно быть не предельно жёстким, как раньше, а достаточно мягким, чтобы поддаваться управлению. Поэтому у современных крупных телескопов главное зеркало либо является относительно тонким (например, при диаметре 8–9 м имеет толщину всего 20 см), либо состоит из множества независимых элементов (например, 36 гексагональных двухметровых пластин составляют главные зеркала у 10-метровых телескопов «Кек»). Тонкое



Аккреция с поверхности красного гиганта на белый карлик. Рисунок



Принципиальная схема системы активной оптики, применяемой на Европейской южной обсерватории в Чили

и лёгкое зеркало объектива позволяет заметно облегчить конструкцию телескопа. К тому же такое зеркало быстро принимает температуру окружающего воздуха, а это снимает проблему тепловых деформаций.

Сейчас все современные телескопы диаметром 8–10 м имеют систему активной оптики. При этом их собственное оптическое качество становится практически идеальным, а качество получаемого изображения ограничивается лишь нестабильностью атмосферы, для подавления которой создаются системы адаптивной оптики.

АКТИВНОЕ ЯДРО ГАЛАКТИКИ — такое ядро галактики, которое выделяет энергии больше, чем всё звёздное население этой галактики. Активные ядра находятся в центрах активных галактик, включая квазары, сейфертовские галактики, блазары и радиогалактики. Являясь источником энергии огромной мощности, активное ядро галактики может демонстрировать к тому же и сильную переменность. Некоторые квазары меняют свой блеск в течение нескольких недель или месяцев, а некоторые блазары демонстрируют переменность рентгеновского излучения на интервале в три часа. Эти изменения накладывают предел на макси-

мально возможный размер источника энергии, так как объект не может изменять свой блеск быстрее, чем свет от одного края излучающей области дойдёт до другого края. Быстрые колебания блеска активных ядер галактик означают, что их излучение выходит из небольшого объёма, диаметр которого порой меньше одного светового дня. Более того, наблюдения орбитального движения звёзд и другого вещества вокруг активных ядер галактик показывают, что внутри источника активности сконцентрирована огромная масса вещества — до нескольких миллиардов $M_{\odot}$. Это приводит к заключению, что центральным источником служит сверхмассивная чёрная дыра. Поскольку сама чёрная дыра, по определению, ничего не излучает, излучение исходит от вещества аккреционного диска, нагретого за счёт взаимного трения его слоёв до температуры несколько миллионов градусов. Это излучение частично поглощается чёрной дырой, частично уходит наружу, а в некоторых случаях за счёт его энергии с огромной скоростью вдоль оси вращения диска выбрасываются наружу две плазменные струи (джета).

Большинство активных ядер можно объяснить в рамках «стандартной модели», в которой источником энергии служит аккреционный диск вокруг чёрной дыры, по-разному ориентированный относительно наблюдателя. Например, если плотное газово-пылевое облако лежит между нами и центром активной галактики, то оно может поглотить излучение видимого и мягкого рентгеновского диапазонов, и мы кроме эмиссионных линий от окружающих облаков увидим только радио-, инфракрасное и высокоэнергетическое излучение, способные преодолеть плотную газово-пылевую среду.

В некоторых случаях пыль в ядрах формирует вокруг центра плотное кольцо. Тогда вид активного ядра галактики зависит от того, видим мы его с ребра (в этом случае центр от нас скрыт) или плашмя (тогда центр виден). Если мы смотрим сквозь пылевое кольцо, то центральный источник нам не виден и активное ядро галактики выглядит как радиогалактика. Если пылевое кольцо наклонено к лучу зрения, то мы увидим центральный источник в виде квазара. Ес-

ли же мы смотрим вдоль джета или близко к этому направлению, то видим блазар.

Активные ядра галактик могут быть как «радиогромкими», так и «радиотихими», или «радиоспокойными». В каждой из этих групп диапазон светимостей очень широк: от таких слабых ядер, что они с трудом выделяются на фоне центральных звёзд галактики, до квазаров, которые в 100 раз ярче, чем суммарная светимость всех звёзд галактики. Радиогромкие активные ядра галактик всегда обладают джетами, в которых вещество мчится почти со скоростью света. Мощность джетов (т. е. кинетическая энергия вещества, уносимая джетом из ядра за одну секунду) примерно равна или даже превышает светимость активного ядра галактики. Радиогромкие активные ядра обычно обнаруживаются в эллиптических галактиках, а в спиральных их вообще нет. Радиотихие активные ядра также могут иметь джеты, но их мощность в тысячи раз слабее мощности излучения активного ядра галактики. Такие ядра обычно наблюдаются в спиральных галактиках, но несколько ярких радиотихих активных ядер найдено и в эллиптических галактиках. Чёткое морфологическое различие (по строению и внешнему виду) между эллиптическими и спиральными галактиками возникает на масштабах, во много раз превышающих размер активного ядра, поэтому непонятно, как глобальные свойства галактики определяют свойства её ядра.

По мере изучения активных ядер галактик становится ясно, что подобная активность может проявляться в форме не только чрезвычайно мощных явлений, но и весьма «скромных», которые тем не менее не удаётся объяснить одним лишь энерговыделением обычных звёзд. Например, в спектрах ядер многих галактик наблюдаются эмиссионные линии, которые невозможно истолковать как излучение молодых звёзд. Такие ядра называют «лайнерами» (LINER — low-ionization nuclear emission-line regions). Точного определения этого типа пока нет, но по свойствам рентгеновского и ультрафиолетового излучения их можно отнести к ядрам сейфертовских галактик крайне низкой мощности. Таким образом, феноме-

ны активности ядер галактик по мощности энерговыделения простираются более чем на шесть порядков величины и в той или иной форме проявляются в ядрах большинства крупных галактик, включая нашу.

АКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В АТМОСФЕРАХ ЗВЁЗД — фотосферные пятна, вспышки, протуберанцы, флоккулы, факелы, корональные выбросы массы и т. п.

АЛГОЛЬ — собственное имя затменной переменной звезды β Персея. Это имя происходит от арабского «ал-голь»; «гуль» — чудовище из арабского и персидского фольклора. В изображении созвездия Персей звезда Алголь представлялась как глаз отрубленной головы горгоны Медузы. Переменность звезды была замечена ещё в древности. В новое время переменность Алголя открыл итальянский учёный Джеминиано Монтанари (1669), а позже это же открытие независимо совершил англичанин Джон Гудрайк (1782). Гудрайк первым догадался, что Алголь — затменная переменная звезда. Ныне Алголь считают прототипом этого класса переменных звёзд.

Алголь — система как минимум из трёх звёзд (наличие ещё двух компонентов подзревается), удалённая от Солнца на 29 пк. Из трёх надёжно обнаруженных звёзд две — Алголь А и Алголь В — образуют тесную двойную систему; расстояние между ними 0,062 а. е., период обращения 2,86731 суток. В результате орбитального движения компоненты поочерёдно частично затмевают друг друга, что для стороннего наблюдателя вызывает эффект переменности блеска. Для земного наблюдателя видимый блеск меняется от 2,1 до 3,4 визуальной звёздной величины; затмение длится около 10 час. Третья звезда — Алголь С — обращается на расстоянии 2,69 а. е. от центра масс первых двух звёзд с периодом 681 день (1,86 года). Общая масса системы — около $6,1 M_{\odot}$. Массы компонентов А:В:С составляют 3,6:0,79:1,7 $M_{\odot}$, их радиусы — 2,3:3,0:0,9 радиуса Солнца. Возраст системы — не более 300 млн лет. Менее массивный Алголь В имеет больший размер и является сильно проэволюционировавшим субгигантом, тогда как Алголь А — звезда главной последовательности. А ведь более массивные

звёзды эволюционируют быстрее. Это противоречие («парадокс Алголя») объясняется перетеканием вещества: когда более массивная звезда стала субгигантом, она заполнила свою полость Роша и её вещество стало перетекать на другой компонент, увеличивая его массу. Так проэволюционировавшая звезда стала менее массивной, чем эволюционно более молодая.

АЛЬБЕДО (лат. *albedo* белизна) — величина, характеризующая рассеивающую или отражательную способность поверхности тела. Выражается как доля падающего потока излучения или частиц, отражённая поверхностью тела. Различают несколько видов альбе́до. Истинное альбе́до, или ламбертово альбе́до, совпадающее с коэффициентом диффузного отражения, — это отношение потока, рассеянного плоским элементом поверхности во всех направлениях, к падающему на него потоку. Если поверхность освещается и наблюдается вертикально, то такое истинное альбе́до называют нормальным. Нормальное альбе́до чистого снега около 1,0, а древесного угля около 0,04.

Значение альбе́до зависит от спектра падающего излучения и от свойств поверхности. Поэтому отдельно измеряют альбе́до для разных спектральных диапазонов (оптическое, ультрафиолетовое, инфракрасное), поддиапазонов (визуальное, фотографическое) и даже для отдельных длин волн (монохроматическое альбе́до).

В астрономии часто используют геометрическое, или плоское, альбе́до — отношение освещённости у Земли, создаваемой планетой в полной фазе (т. е. её блеска), к освещённости, которую создал бы плоский абсолютно белый экран того же размера, что и планета, отнесенный на её место и расположенный перпендикулярно лучу зрения и солнечным лучам. Визуальное геометрическое альбе́до Луны 0,12; Земли 0,367. В принципе геометрическое альбе́до может быть больше единицы (частично зеркальное отражение). Например, геометрическое альбе́до Энцелада (спутник Сатурна) составляет $1,375 \pm 0,008$.

Для расчёта энергетического баланса планет используется сферическое альбе́до (альбе́до Бонда), введенное в 1861 г. амери-

канским астрономом Д. Ф. Бондом (1825–1865). Это отношение отражённого всей планетой потока излучения к падающему на неё потоку. Бондовское альбе́до Земли 0,306, у лишённой атмосферы Луны оно равно 0,067, у покрытой облаками Венеры 0,77, а у покрытого снегом Энцелада 0,81.

АЛЬВЕНОВСКИЕ ВОЛНЫ, или **альфвеновские волны** — в широком смысле магнитогидродинамические волны (МГД-волны), распространяющиеся в плазме в магнитном поле. Названы в честь предсказавшего их в 1942 г. шведского физика Х. Альвена (Альфвен, Н. Alfvén, 1908–1995), впервые рассмотревшего колебания проводящей намагниченной жидкости и установившего существование продольных и поперечных МГД-волн, движение вещества в которых происходит соответственно вдоль и поперёк направления распространения волны. Продольные волны получили название быстрых и медленных магнитозвуковых. А в узком, наиболее употребительном смысле альвеновскими волнами называют поперечные МГД-волны, распространяющиеся без дисперсии в плазме вдоль силовых линий магнитного поля за счёт его упругости.

Альвеновская волна характеризуется изменениями магнитного поля и скорости плазмы (например, солнечного ветра) при её неизменной плотности. Частота альвеновских волн не превышает ионную циклотронную частоту (поэтому они являются низкочастотными), движение электро-



Х. Альвен

нов и ионов в альвеновской волне происходит одинаково, и плазма ведет себя как единая жидкость. Скорость волн (альвеновская скорость) не зависит от частоты колебаний и определяется напряжённостью магнитного поля H и плотностью плазмы ρ : $V_A = \sqrt{H/(4\pi\rho)}$. Но при этом частота колебаний ограничена сверху ионной циклотронной частотой, равной qH/mc , где q и m — заряд и масса частицы.

АЛЬТАИР — α Орла, звезда $0,77^m$, удалённая от Солнца на 17 св. лет. В результате быстрого вращения, скорость которого на экваторе превышает 250 км/с, Альтаир сильно сжат вдоль полярной оси.

АЛЬФА-ЧАСТИЦА — ядро ${}^4\text{He}$, содержащее 2 протона и 2 нейтрона. Масса α -частицы $m = 4,00151$ а. е. м. $= 6,64466 \cdot 10^{-24}$ г, спин и магнитный момент равны 0. Энергия связи 28,11 МэВ (7,03 МэВ на один нуклон). Проходя через вещество, α -частицы тормозятся за счёт ионизации и возбуждения атомов и молекул, а также диссоциации молекул. Длина пробега α -частицы в воздухе $l = av^3$, где v — начальная скорость, $a = 9,7 \cdot 10^{-28}$ с³см⁻² (для $l \sim 3$ –7 см). Для плотных веществ $l \sim 10^{-3}$ см (в стекле $l = 4 \cdot 10^{-3}$ см). Ядерная физика обязана изучению α -частиц многими фундаментальными открытиями: исследование рассеяния α -частиц привело к открытию атомного ядра, облучение α -частицами легких элементов — к открытию ядерных реакций и искусственной радиоактивности. Ядра звёзд солнечного типа состоят из полностью ионизованных атомов гелия, т. е. фактически из α -частиц.

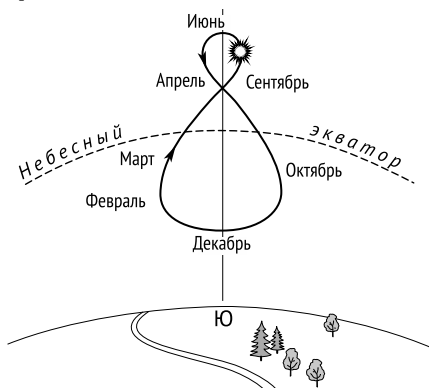
АМПЛИТУДА КОЛЕБАНИЯ БЛЕСКА — разница между минимальным и максимальным блеском звезды (или астероида и т. п.) за период наблюдения, выраженная в звёздных величинах. Термин часто используется при описании кривых блеска. Так, амплитуды изменения блеска переменных звёзд типа RR Лир лежат в диапазоне от $0,2^m$ до 2^m .

Следует иметь в виду, что астрономы понимают под амплитудой полный размах колебаний, тогда как физики — максимальное (по абсолютной величине) отклонение от среднего: например, амплитудой синусоидального колебания физик называет половину полного размаха колебаний.

АНАЛЕММА — кривая линия, соединяющая ряд последовательных положений Солнца на небосводе в одно и то же время суток (по среднему солнечному времени) в течение года. Иными словами, это траектория движения центра истинного Солнца относительно среднего Солнца. По форме напоминает цифру 8, причём для наблюдателя в Северном полушарии верхняя часть этой восьмёрки меньше, чем нижняя. В Южном полушарии она, естественно, перевернута.

Форма аналеммы определяется наклоном земной оси к плоскости эклиптики и эллиптичностью земной орбиты. Наивысшее положение на аналемме Солнце занимает в момент летнего солнцестояния, наинизшее — в момент зимнего. Из-за эллиптичности земной орбиты ежедневные положения Солнца вблизи верхнего экстремума кривой расположены теснее, а вблизи нижнего — реже. Это связано с тем, что Земля проходит перигелий в начале января, поэтому вблизи зимнего солнцестояния, в декабре, Земля движется по орбите быстрее, а вблизи летнего (в области афелия орбиты) — медленнее. Поскольку солнцестояния опережают дни прохождения перигелия и афелия примерно на две недели, «восьмёрка» аналеммы слегка асимметрична.

Время опоздания прибытия Солнца к фиксированному меридиану в разные дни различно, но может достигать 14 мин 19 с, а время опережения может достигать 16 мин 30 с. Это значит, что в угловой мере ширина аналеммы на небе составляет $7,7^\circ$.



Аналемма в средний солнечный полдень

АНАСТИГМАТ — оптическая система с исправленным астигматизмом и плоской фо-

кальной поверхностью (т. е. исправлена кривизна поля изображения). Объектив-анастигмат практически свободен от всех оптических aberrаций по всему полю изображения. Считается, что это наиболее совершенный тип объектива, преимущественного фотографического.

АНДРОМЕДА — созвездие северного неба; лежит к востоку от Большого Квадрата Пегаса, который осенними вечерами расположен в южной стороне неба. Андромеда состоит из трёх цепочек звёзд, выходящих из северного угла Квадрата к северо-востоку, в сторону созвездия Персей. В греческих мифах Андромеда — дочь эфиопского царя Цефея (Кефея) и царицы Кассиопеи. Бог морей Посейдон предназначил Андромеду в жертву морскому чудовищу, но её спас Персей. На небе все эти персонажи расположены рядом. Самый замечательный объект в этом созвездии — крупная спиральная галактика М31 (Туманность Андромеды) с двумя её спутниками — галактиками М32 и NGC 205. В безлунную ночь Туманность Андромеды видна невооружённым глазом примерно на 1° к западу от звезды ν Андромеды. Внешне она напоминает бледный овал размером с диск Луны. В действительности же её диаметр около 180 000 св. лет, и в ней содержится около 300 млрд звёзд, т. е. она больше нашей Галактики. Хотя Туманность Андромеды была известна ещё арабам в X в. (персидский астроном ас-Суфи называл её «маленьким облачком»), европейские учёные обнаружили её только в XVII столетии. Другие интересные объекты в этом созвездии: рассеянное звёздное скопление NGC 752, планетарная туманность NGC 7662 и одна из самых красивых спиральных галактик, видимых с ребра, NGC 891.

АННИГИЛЯЦИЯ частиц и античастиц — превращение частицы и античастицы при столкновении в другие частицы. Этим термином (от лат. *annihilatio* — уничтожение, исчезновение) первоначально называли электромагнитный процесс превращения электрона и его античастицы — позитрона при их столкновении в электромагнитное излучение (в 2 или 3 γ -кванта). Однако термин неудачен, так как в процессах аннигиляции материя не уничтожается, а лишь превра-

щается из одной формы в другую. Аннигиляция — это один из видов взаимопревращения элементарных частиц.

Столкновение любой частицы с её античастицей может приводить к их аннигиляции, причём не только за счёт электромагнитного взаимодействия. Так, аннигиляция протонов и антипротонов в π -мезоны (преимущественно в 5 или 6 π -мезонов) вызывается сильным взаимодействием. В этом случае первичные продукты аннигиляции оказываются нестабильными и за аннигиляцией следует цепь последовательных превращений, приводящих в конечном счёте к образованию фотонов и нейтрино.

Аннигиляционное излучение из области центра Галактики наблюдалось с 1968 г. Интенсивность аннигиляционной линии практически не менялась до начала 1980 г., после чего менее чем за год упала ниже порога чувствительности детекторов. Малая ширина линии ($\leq 2,5$ кэВ) означает, что излучение образуется термализованными позитронами в среде с $T \leq 5 \cdot 10^4$ К. Переменность излучения накладывает ограничения на размер области аннигиляции ($\leq 10^{18}$ см) и концентрацию частиц в ней ($\leq 10^5$ см $^{-3}$). Источник позитронов неизвестен. Предположительно позитроны генерируются в окрестности массивной аккрецирующей чёрной дыры, имеющейся в центре Галактики.

АНОМАЛЬНЫЕ РЕНТГЕНОВСКИЕ ПУЛЬСАРЫ — тип рентгеновских пульсаров с очень длинным периодом вращения: от 6 до 12 секунд. При такой низкой скорости вращения объяснить мощное рентгеновское излучение очень трудно. Рассматриваются две модели. В первой газ, выброшенный при взрыве сверхновой, образовавшей пульсар, падает назад, на нейтронную звезду, магнитное поле у которой такое же, как у обычного пульсара; в районах магнитных полюсов газ ударяется о поверхность, нагревается и начинает излучать в рентгеновском диапазоне. Во второй модели, которая в настоящее время подтверждается наблюдениями, аномальные рентгеновские пульсары являются магнитами — нейтронными звёздами с очень сильным магнитным полем.

АНТАРЕС — α Скорпиона, красный сверхгигант, изменяющий блеск от 0,9^m до 1,2^m.

Греческое имя «Антарес» означает «соперник Ареса (Марса)». По яркости и цвету Антарес похож на Марс и расположен вблизи эклиптики, так что перепутать их легко. Диаметр Антареса примерно в 700 раз, а светимость — в 9000 раз больше, чем у Солнца. Это прекрасная визуальная двойная звезда: более яркий компонент кроваво-красный, а его сосед (5^m), удалённый всего на $3''$, голубовато-белый, но по контрасту он выглядит зелёным.

АНТЕННАЯ РЕШЁТКА — совокупность простых антенн (полуволновых диполей, антенн Яги), выходы которых объединены для получения большего углового разрешения и увеличения чувствительности. Имеется два распространённых варианта расположения антенн: параллельная решётка, в которой полуволновые диполи расположены в одну линию на расстоянии $\lambda/2$ с ориентацией каждого диполя вдоль этой линии (оси) решётки, и поперечная решётка, имеющая такую же геометрию, но диполи в ней ориентированы перпендикулярно оси решётки. Термин «решётка», а также «комплекс», «система», «массив», «поле», «строй», «построение» (англ. *array*) иногда используют и в названиях систем из нескольких параболических антенн: например. Very Large Array (VLA), Большая антенная решётка, — система апертурного синтеза, состоящая из 27 радиотелескопов с параболическими антеннами диаметром по 25 м, расположенная в штате Нью-Мексико (США).

АНТЕННАЯ РЕШЁТКА СО СВЕРХДЛИННЫМИ БАЗАМИ (Very Long Baseline Array, VLBA) — радиоинтерферометр, принадлежащий Национальной радиоастрономической обсерватории (NRAO) США. Включает в себя 10 радиотелескопов весом по 240 т с параболическими антеннами диаметром по 25 м, из которых 8 расположены на Североамериканском континенте, один — на Гавайских островах и один на о. Пуэрто-Рико. Система управляется из центра в Сокорро, Нью-Мексико (США). Максимальная база (расстояние между отдельными радиотелескопами) — 8600 км.

АНТИВЕЩЕСТВО, или **антиматерия**, — вещество, состоящее из античастиц (см. *Античастицы*). Антивещество имеет гравита-

ционные свойства обычного вещества, но его элементарные частицы обладают противоположными по знаку электрическими зарядами и константами взаимодействия ядерных сил. При контакте обычного вещества с антивеществом происходит аннигиляция, практически эквивалентная взрыву с чрезвычайно высокой эффективностью превращения массы в энергию ($E=mc^2$) в основном в форме γ -квантов и нейтрино (см. *Аннигиляция частиц и античастиц*).

На Земле, в Солнечной системе и в непосредственно окружающем Солнечную систему космическом пространстве отсутствует сколько-нибудь заметное количество антивещества. Наблюдаемые в космических лучах позитроны и антипротоны можно объяснить их рождением при столкновениях частиц высоких энергий без привлечения гипотез о существовании макроскопических областей антивещества. В пользу этого свидетельствует и отсутствие ядер антивещества в космических лучах. Непосредственное астрономическое наблюдение удалённого космического объекта из-за тождественности спектров электромагнитного излучения атомов вещества и антивещества не позволяет установить, состоит он из вещества или антивещества. Астрономические проявления звёзд из вещества и из антивещества должны быть одинаковыми, но при наличии звёзд из антивещества различные механизмы потери массы звёздами приводили бы к появлению антивещества в межзвёздной среде и его аннигиляции с межзвёздным газом. Отсутствие интенсивного γ -излучения, которое должно было бы при этом наблюдаться, налагает жёсткое ограничение на концентрацию антивещества в галактиках (менее 10^{-15} от концентрации вещества) и в скоплениях галактик (менее 10^{-6} от концентрации вещества).

АНТИЧАСТИЦЫ — элементарные частицы, имеющие те же значения масс, спинов и других физических характеристик, что и их «двойники» — частицы, но отличающиеся от них знаками некоторых характеристик взаимодействия (например, электрического заряда). Исключение — фотон и нейтральные мезоны (например, π^0 -мезон), у которых все заряды равны нулю, из-за чего эти частицы

тождественны своим античастицам. Такие частицы являются истинно нейтральными.

Существование античастиц было предсказано Полем Дираком (P. A. M. Dirac, 1902–1984). К настоящему времени наблюдались античастицы практически всех известных частиц, и не вызывает сомнения, что античастицы имеются у всех частиц. При столкновении частицы с античастицей происходит аннигиляция, при которой частица и её античастица исчезают, превращаясь в частицы иной природы (см. *Аннигиляция частиц и античастиц*).

Рождение античастиц может происходить в столкновениях частиц вещества, разогнанных до высоких энергий. Такие условия реализуются в окрестностях пульсаров и активных ядер галактик, а также при взаимодействии космических лучей с веществом. Теоретическая астрофизика рассматривает образование античастиц (позитронов, антинуклонов) при аккреции вещества на чёрные дыры. Условия массового рождения электрон-позитронных пар могут реализоваться в горячих ядрах массивных звёзд. Согласно модели горячей Вселенной, на очень ранних стадиях расширения Вселенной в равновесии с веществом и излучением находились все сорта пар «частица – античастица».

Античастица, соответствующая данной частице, обычно обозначается символом частицы с тильдой или чертой сверху: например, антипротон имеет обозначение $\bar{p}$.

АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП — утверждение о том, что все свойства нашей Вселенной (даже ещё не открытые) должны не противоречить существованию в ней тех объектов, которые нам уже известны, в том числе и человека. Существуют и другие научные формулировки антропного принципа, не различающиеся по существу. Например: свойства Вселенной именно таковы потому, что при других её свойствах возникновение жизни было бы невозможно, и, следовательно, не было бы наблюдателей, способных размышлять о том, почему свойства Вселенной именно такие, как есть. При этом имеются в виду самые фундаментальные свойства: трёхмерность пространства, заряды и массы элементарных частиц, от-

носительная сила физических взаимодействий и т. п.

АПЕКС (лат. *apex* вершина) — точка на небесной сфере, в направлении которой движется в пространстве наблюдатель на астрономическом объекте или вместе с ним, например на поверхности Земли, вместе с Землёй или со всей Солнечной системой. Необходимо указывать, относительно чего происходит движение, т. е. с какими объектами связана система отсчёта. Если наблюдателя помещают на поверхность Земли, то апекс суточного движения наблюдателя совпадает с точкой востока (суточный апекс). Апекс орбитального движения Земли перемещается в течение года, оставаясь в плоскости её орбиты, т. е. перемещается по эклиптике.

Солнце движется относительно ближайших звёзд (относительно местного стандарта покоя) со скоростью около 20 км/с с апексом, имеющим приблизительные экваториальные координаты $\alpha = 270^\circ$, $\delta = +30^\circ$ (в созвездии Геркулес). При этом Солнце движется вместе с этими звёздами вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с.

Относительно межзвёздного газа движение Солнца происходит в направлении $\alpha = 258^\circ$, $\delta = -17^\circ$. Относительно крупных галактик в окрестности Местной группы Солнце движется со скоростью около 300 км/с в направлении галактической долготы $l = 120^\circ$ и широты $b = +35^\circ$. В основном это скорость обращения Солнца вокруг центра Галактики. Относительно реликтового излучения (можно сказать — относительно Вселенной!) Солнце движется со скоростью около 370 км/с в направлении границы созвездий Лев и Чаша, к точке с экваториальными координатами $\alpha = 11^h 12^m$ и $\delta = -7,1^\circ$ (эпоха J2000), что соответствует галактическим координатам $l = 264,26^\circ$, $b = +48,22^\circ$.

АПЕКС СОЛНЦА — направление, в котором происходит движение Солнца, а фактически движение всей Солнечной системы. Впервые это движение заметил и приблизительно определил его направление В. Гершель в 1783 г., нанеся на карту звёздного неба собственные движения нескольких ярких звёзд.

На основании собственных движений (m) и лучевых скоростей (V_r) звёзд, видимых невооружённым глазом (т. е. звёзд до

6^m), выясняется, что по отношению к совокупности этих звёзд Солнце движется к апексу (арех) с экваториальными координатами 18^h, +30° (в созвездии Геркулес, недалеко от Веги). Противоположная точка, от которой удаляется Солнце, называется антиапекс (antarex); её координаты 6^h, -30° (в созвездии Голубь, недалеко от Сириуса).

Геометрический центр некоторой группы звёзд называют её центроидом. Апекс солнечного движения можно определять по отношению к центроидам различных объектов. Движение Солнца относительно центроида звёзд до 6^m (среди которых как близкие карлики, так и далёкие гиганты и сверхгиганты) называют стандартным движением Солнца (standard solar motion). Округлённые экваториальные координаты «стандартного апекса»: прямое восхождение $A = 18^h = 270^\circ$, склонение $D = +30^\circ$ (эпоха 1900.0); галактические координаты: долгота $L = 56^\circ$, широта $B = +23^\circ$, а скорость $v_\odot = 19,7 \pm 0,5$ км/с = 4,15 а. е./год = $2,02 \cdot 10^{-5}$ пк/год.

В прямоугольной системе координат, где ось X направлена к центру Галактики, Y — в направлении галактического вращения ($l = 90^\circ$, $b = 0^\circ$) и Z — к северному полюсу Галактики ($b = +90^\circ$), компоненты стандартного движения Солнца составляют: $V_X = +10,2$ км/с, $V_Y = +15,1$ км/с и $V_Z = +7,4$ км/с.

С центроидом наиболее близких звёзд связано так называемое основное движение Солнца (basic solar motion). Его скорость 15,4 км/с в направлении $l = 51^\circ$, $b = 23^\circ$.

Иногда говорят, что движение Солнца к апексу — это его движение относительно местного стандарта покоя. Здесь возможна путаница. В данном случае имеется в виду не динамический местный стандарт покоя (LSR), основанный на движении мнимой точки по круговой галактоцентрической орбите радиуса R_0 , а так называемый кинематический местный стандарт покоя, связанный с движением центроида околосолнечных звёзд.

АПЕРТУРА — входное отверстие объектива телескопа, т. е. его главного зеркала или внешней линзы. Обычно апертурой называют диаметр (реже — площадь) этого отверстия. Действующая апертура — диаметр той части объектива, попав на которую свет

проходит сквозь всю оптическую систему и достигает приёмника излучения. Как правило, диаметр апертуры совпадает с входным диаметром объектива, однако в некоторых недорогих телескопах внутренние диафрагмы уменьшают эффективную апертуру по сравнению с входным диаметром.

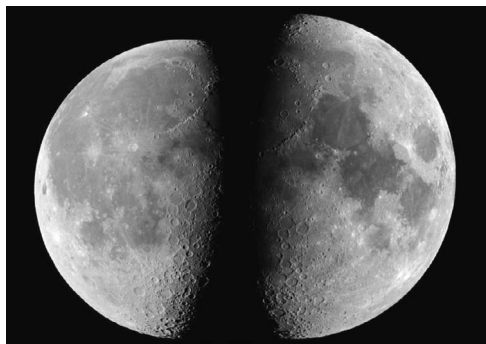
АПЕРТУРНЫЙ СИНТЕЗ — метод, позволяющий наблюдать объект одновременно несколькими телескопами, объединяя собранное ими излучение. При этом качество изображения по некоторым параметрам соответствует тому, которое могло бы быть получено телескопом с апертурой, равной расстоянию между наиболее удалёнными инструментами, участвующими в синтезе. Метод широко применяется в радиоастрономии, а с недавних пор и в оптической астрономии, позволяя существенно повышать угловое разрешение в сравнении с каждым из одиночных инструментов. Разрешение даже самых больших современных одиночных радиотелескопов с размером зеркал 50–100 м составляет лишь 1'–2'. Дальнейшее повышение разрешающей силы за счёт увеличения размеров зеркал ограничено неизбежным прогибом антенн под действием собственного веса.

Существенно большее угловое разрешение может быть получено методом апертурного синтеза. Распределение радиояркости объекта — различие в интенсивности излучения отдельных его участков — может быть представлено разложением на отдельные гармоники, т. е. синусоидальные пространственные колебания разной частоты (ряд Фурье). Амплитуды гармоник и их фазы измеряются на радиоинтерферометре с базой переменной длины и ориентации, которые определяют частоту пространственной синусоиды, выделяемой интерферометром из излучения измеряемого объекта. Последовательные наблюдения радиосточника с базами разной длины и ориентации позволяют измерить амплитуды и фазы гармоник. Суммируя полученные гармоники с учётом их фазы, находят распределение радиояркости исследуемого объекта (синтезируют изображение). Поскольку длина базы может существенно превышать размер одиночной антенны, метод апертур-

ного синтеза эквивалентен наблюдениям на антенне с громадными размерами, или, как говорят, на телескопе с большой апертурой. Но высокое разрешение достигается ценой большого времени наблюдений. Этим методом были получены распределения радиояркости многих объектов, таких как Лебедь А, Кассиопея А, Телец А (Крабовидная туманность) и др. Разрешение достигало $20''$, а в ряде случаев даже нескольких угловых секунд.

Для сокращения времени наблюдений используют многоэлементные системы, образующие одновременно большое число баз разной длины и ориентации. К таким инструментам относится большая антенная решётка (Very Large Array, VLA) Национальной радиоастрономической обсерватории в Нью-Мексико (США); 27 её антенн диаметром 25 м каждая расположены вдоль образующих в виде буквы Y. Разрешение инструмента достигает $1''$ на длине волны 10 см. Наблюдения на радиоинтерферометрах со сверхбольшими базами позволяют получить изображение радиоисточника с угловым разрешением до 100 мкс дуги. Но и это не предел, вывод одного из радиотелескопов на орбиту вокруг Земли позволяет значительно увеличить базу и достигнуть ещё более высокого углового разрешения (см. *Космическая радиоинтерферометрия*).

АПОГЕЙ (греч. *apogeios* находящийся далеко от Земли) — наиболее удалённая от Земли точка орбиты Луны или искусственного спутника Земли.



Видимый размер лунного диска в апогее заметно меньше, чем в перигее.

АПОХРОМАТ — объектив, состоящий из трёх и более линз, лучше исправленный от-

носительно хроматической аберрации, чем ахромат. В апохромате в общий фокус сведены лучи трёх разных длин волн, а в супер-апохромате — четырёх. В них исправлена также и сферическая аберрация.

АРКТУР — α Волопаса, звезда $-0,04$ визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 37 св. лет и имеющая светимость в 110 раз выше солнечной. Ярчайшая звезда к северу от небесного экватора.

АСИМПТОТИЧЕСКАЯ ВЕТВЬ ГИГАНТОВ — область на диаграмме Герцшпрунга — Рассела, расположенная над и почти параллельно ветви красных гигантов; отсюда и название «асимптотическая». Асимптотическую ветвь населяют сильно проэволюционировавшие звёзды малой и средней массы ($0,4-10 M_{\odot}$), имеющие углеродно-кислородное ядро, окруженное слоевым источником термоядерного горения гелия. Над ним располагается слоевой источник горения водорода. Хотя звёзды асимптотической ветви проэволюционировали существенно дальше, чем звёзды, лежащие на ветви красных гигантов, нередко и те и другие называют (хотя это не вполне корректно) красными гигантами, поскольку они очень велики по размеру и цвет у них красноватый.

Эволюция звёзд асимптотической ветви гигантов протекает следующим образом. Вначале, ещё на ветви красных гигантов, источником их излучения служит слой горения водорода, располагающийся над небольшим гелиевым ядром. В результате сгорания водорода ($4\ ^1\text{H} \rightarrow\ ^4\text{He}$) масса лежащего под ним гелиевого ядра растёт, увеличивается его плотность и температура, и происходит «гелиевая вспышка» ($3\ ^4\text{He} \rightarrow\ ^{12}\text{C}$), вызывающая мощный тепловой импульс. Правда, на поверхности звезды он почти не заметен. В результате сгорания гелия увеличивается масса углеродно-кислородного ядра, и поэтому со временем размер и светимость звезды возрастают.

Когда звезда доходит до асимптотической ветви гигантов, она становится пульсирующей переменной (миридой). Звёздный ветер, рождающийся в оболочке звезды, выдувает её наружные слои с темпом $10^{-8}-10^{-4}\ M_{\odot}/\text{год}$. В потоке ветра образуются частицы пыли из углерода, выносимого

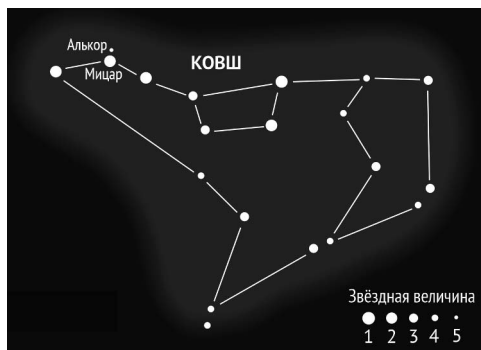
из ядра конвективными потоками. Позже они сыграют важную роль при формировании межзвёздных облаков и далее — планетных систем.

Из-за большой потери массы звёзды асимптотической ветви гигантов не становятся сверхновыми. Когда их оболочка уже почти рассасывается, образуется протопланетарная туманность, которая постепенно превращается в планетарную туманность. А ядро звезды становится белым карликом с массой $0,6\text{--}0,7 M_{\odot}$.

АССОЦИАЦИЯ ЗВЁЗДНАЯ — разреженная группировка молодых звёзд, возраст которых обычно не превышает нескольких десятков миллионов лет. Типичный размер звёздной ассоциации — $50\text{--}100$ пк. Количество наблюдаемых звёзд — от нескольких единиц до нескольких сотен. От молодых звёздных скоплений ассоциации отличаются большим размером и меньшей пространственной плотностью звёзд. Поэтому звёзды ассоциаций слабо связаны друг с другом силой взаимного тяготения и, в отличие от звёзд рассеянных и шаровых скоплений, практически свободно разлетаются от места совместного формирования.

Рождение звёздных ассоциаций связано с формированием звёзд в комплексах молекулярных облаков. Впоследствии газ может покинуть область звездообразования, что приведёт к медленному расширению и разлёту некоторых из родившихся там звёзд; из них и формируется ассоциация. Примером служит обширная группа молодых голубых звёзд в созвездии Орион. Ассоциации наблюдаются не только в нашей Галактике, но и в соседних галактиках. Различают два типа ассоциаций: *ОВ-ассоциации*, содержащие яркие массивные звёзды спектральных классов О и В, хотя при внимательном поиске в них обнаруживаются и маломассивные звёзды; *Т-ассоциации*, типичное население которых — молодые маломассивные переменные звёзды типа Т Тельца.

АСТЕРИЗМ — характерная группа звёзд, легко узнаваемая и имеющая собственное название. Большинство астеризмов состоит из ярких звёзд, принадлежащих одному или нескольким соседним созвездиям. Например: Ковш в созвездии Большая Медведица.



Астеризм Ковш занимает незначительную часть созвездия Большая Медведица.

дица, Пояс в созвездии Орион, Голова в созвездии Дракон, Летний треугольник — Вега (α Лиры), Денеб (α Лебеда) и Альтаир (α Орла); Большой квадрат из звёзд в Андромеде и Пегасе. Некоторые астеризмы состоят из тусклых звёзд, например Плеяды в созвездии Телец. Астеризм — древний термин; в начале XVII в. он ещё означал «созвездие», но затем был потеснён термином *constellatio* и стал обозначать, как правило, более мелкую группу звёзд — часть созвездия, характерную фигуру из его ярких звёзд. До сих пор в быту, говоря о созвездиях, мы имеем в виду астеризмы. Например, часто говорят «созвездие Большая Медведица», когда имеют в виду только Ковш. Нередко можно услышать про «созвездие Плеяды», хотя это не созвездие, а астеризм в Тельце. Профессиональные астрономы называют созвездиями площадки небесной сферы, включающие как астеризм из ярких звёзд (если они там есть), так и многочисленные тусклые звёзды и прочие небесные объекты, наблюдаемые на фоне этой площадки.

АСТЕРОИДЫ — малые тела Солнечной системы, не демонстрирующие (подобно кометам) испарение вещества с поверхности. В большинстве своём это твёрдые тела неправильной формы, обращающиеся вокруг Солнца, в основном, между орбитами Марса и Юпитера; эту область называют «поясом астероидов» или «Главным поясом астероидов», имея в виду, что орбиты некоторых тел лежат вне этой области. Крупных астероидов мало: только у 30 из них диаметр превышает 200 км. Крупнейшие — Паллада (538 км) и Веста (526 км). Они настолько

массивны, что под действием собственной гравитации приняли почти сферическую форму. Ещё около 250 имеют диаметры до 100 км; астероидов с диаметрами более 1 км порядка 100 тыс. По оценкам, в Солнечной системе существуют миллионы астероидов размером с булыжник (размер порядка 10 м). Вероятно, они образовались вследствие дробления при взаимных столкновениях более крупных тел. Небольшие астероиды имеют весьма причудливую форму. Некоторые образуют двойные системы или имеют спутники. В прошлом астероиды часто называли «малыми планетами», но теперь этот термин не используется (чтобы не было путаницы с планетами-карликами).

В конце 1980-х гг. электронные приёмники света начали вытеснять фотопластинки, что значительно облегчило труд «охотников за астероидами», переложив монотонную работу по поиску малых планет на компьютер. К 1995 г. было открыто около 18 тыс. астероидов. К 2000 г. появились автоматические телескопы, вообще не требующие ночного труда наблюдателя. В результате к 2012 г. число зарегистрированных астероидов превысило 500 тыс.; количество астероидов с надёжно вычисленными орбитами и, следовательно, получивших порядковые номера, вплотную приблизилось к 200 тыс. А к марту 2020 г. уже было зарегистрировано 930 тыс. астероидов, из которых 545 тыс. получили порядковые номера. Некоторые из них сближаются с орбитой Земли и даже пересекают ее, что делает возможным их столкновение с Землёй. Мелкие осколки астероидов регулярно падают на Землю в виде метеоритов.

АСТИГМАТИЗМ (греч. *stigma* точка) — аберрация оптической системы, проявляющаяся в том, что изображение точки, не лежащей на главной оптической оси, представляет собой не точку, а две взаимно перпендикулярные линии на некотором расстоянии друг от друга. В промежуточных плоскостях изображения имеют вид эллипсов с равномерным распределением освещённости.

Причина астигматизма у симметричных систем состоит в неодинаковой кривизне оптических поверхностей в разных плоско-

стях сечения падающего светового пучка. Астигматизм глаза обусловлен неравномерной кривизной роговой оболочки или хрусталика; компенсируется цилиндрическими линзами. Астигматизм сложного объекта может быть исправлен соответствующим подбором линз; такие системы называют анастигматами.

АСТРОБИОЛОГИЯ — наука, посвящённая поиску жизни за пределами Земли и изучению возможности её существования в условиях, отличных от земных. Термин «астробиология» широко распространён, но не общепринят: наряду с ним нередко используется термин «экзобиология», предложенный в 1960 г. нобелевским лауреатом генетиком Джошуа Lederbergом (1925–2008). В русскоязычной литературе под экзобиологией обычно понимают экспериментальный поиск жизни в пределах Солнечной системы. В научной литературе употребляется также термин «биоастрономия» как синоним поиска внеземной жизни.

АСТРОБЛЕМА (от *astro...* и греч. *blema* — рана, т. е. «звёздная рана») — геологическая структура, возникающая на месте древнего метеоритного кратера. Термин предложен в 1960 г. американским геологом Р. С. Дицем. Астроблема состоит из линзовидной брекчии, расположенной под дном кратера, полностью или в значительной части уничтоженного эрозией и погребённого под наносным материалом. Под брекчией залегают трещиноватые коренные породы. Образование брекчии и трещиноватости связано со взрывным действием упавшего метеорита, образовавшего кратер. На Земле известно около 200 астроблем.

АСТРОКЛИМАТ — совокупность атмосферных факторов, влияющих на качество астрономических наблюдений. Важнейшие из них — прозрачность воздуха, степень его однородности (влияющая на чёткость изображения объектов), величина фонового свечения атмосферы, суточные перепады температуры и сила ветра.

Наземные астрономические наблюдения ведутся со дна воздушного океана. Сжатая до плотности воды, наша атмосфера имела бы толщину 10 м. Представьте, что вы наблюдаете в телескоп звёзды со дна во-

доёма такой глубины. Практически этим и заняты астрономы, работающие на уровне моря. Волнение воздушного океана, плавающие в нём облака и пыль, свечение газов и поглощение ими света звёзд вынуждают астрономов стремиться к «всплытию», т. е. поднимать свои приборы в верхние слои атмосферы, а ещё лучше — в космос.

Прозрачность атмосферы. В оптическом диапазоне прозрачность земной атмосферы довольно велика: свет звезды, находящейся в зените, при наблюдении с уровня моря ослабляется на 25–50% (слабее — у красного конца спектра, сильнее — у голубого), а с высоты современной горной обсерватории (2500–3000 м) в среднем на 20%.

В ультрафиолетовом (УФ) диапазоне прозрачность атмосферы резко снижается: для волн короче 280 нм она практически непрозрачна. В инфракрасном (ИК) диапазоне прозрачность атмосферы очень неоднородна: существует несколько мощных полос поглощения молекулами кислорода и воды. Поэтому для наблюдения в близком ИК-диапазоне телескопы устанавливают в сухих высокогорных районах. В дальнем ИК-и в УФ-диапазонах наблюдения возможны только из космоса.

Качество изображения. При выборе места для строительства обсерватории астрономов в первую очередь интересует количество ясного ночного времени. Оно измеряется в суммарном годовом количестве часов безоблачного неба в период астрономической ночи, когда погружение Солнца под горизонт превосходит 18° и уже не заметны сумеречные явления. Для старых университетских обсерваторий, размещённых вблизи крупных городов Европы, это время составляет порядка 200–300 часов в год (Пулково, Рига, Москва); для горных обсерваторий, располагающихся в южной части бывшего СССР (Крым, Кавказ, Казахстан, Узбекистан) это 1000–1500 часов, а для наиболее современных обсерваторий в горах Чили и на Гавайях — 2500–3000 часов.

Однако даже совершенно ясная ночь может не удовлетворять астрономов по качеству изображения объектов. Воздушные слои разной плотности по-разному прелом-

ляют световой луч. Если воздух спокоен, то это приводит лишь к смещению изображения как целого (см. *Атмосферная рефракция*). Но если слои воздуха с различной температурой, а следовательно, и плотностью, хаотически перемешаны, то изображение звезды дрожит и размывается, мелкие детали на поверхности планет становятся не видны и оказывается невозможно измерять точное положение и яркость звёзд.

Качество изображения обычно характеризуют угловым диаметром кружка, в виде которого предстаёт изображение звезды в телескопе. Приемлемым для наблюдений считается качество изображения в $2''$ – $3''$, весьма хорошим — в $1''$. На лучших высокогорных обсерваториях бывают изображения в $0,5''$ и даже $0,35''$. Далеко не каждая ясная ночь отличается высоким качеством изображения: так, ветреная погода ухудшает качество изображений: звёзды сильно дрожат и размываются, что связано с усилением турбулентности в атмосфере. Ветер — важный фактор астроклимата в приземном слое атмосферы. Перемешивая слои холодного и тёплого воздуха, он создаёт неоднородности плотности в столбе воздуха над инструментом. Неоднородности, размер которых меньше диаметра телескопа, приводят к дефокусировке изображения. Более крупные флуктуации (несколько метров и более) не вызывают резких искажений фронта волны и приводят в основном к смещению, а не к дефокусировке изображения.

Даже на самых хороших с точки зрения астроклимата горных вершинах, таких как Серро-Паранал в чилийской пустыне Атакама, Мауна-Кеа на о. Гавайи, Рока-де-лос-Муачос на о. Ла-Пальма в архипелаге Канарских островов, прозрачность атмосферы и качество изображения непрерывно изменяются. Поэтому астроном-наблюдатель регулярно делает записи в журнале наблюдений с указанием состояния неба и размера изображения звёзд. При высокоточном измерении блеска переменных звёзд приходится до и после измерения изучаемой звезды определять также и блеск специально выбранных звёзд сравнения (так называемых стандартов), про которые известно, что они

светят очень стабильно, поэтому изменение их видимой яркости целиком связано со свойствами атмосферы Земли.

Загрязнение ночного неба искусственным светом. Помимо естественных факторов, влияющих на астроклимат, в XX в. он испытал существенное влияние цивилизации. Важнейшим отрицательным фактором стало ночное освещение городов, сделавшее невозможным проведение в них астрономических наблюдений. В последние десятилетия этот фактор стал одной из важнейших составляющих астроклимата.

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ЕДИНИЦА (а. е.) — единица длины, практически равная среднему расстоянию между центрами Земли и Солнца, т. е. большой полуоси земной орбиты. $1 \text{ а. е.} = 149\,597\,870 \pm 2 \text{ км}$. Обычно используется в астрономии при указании расстояний между объектами Солнечной системы и между звёздами в двойных системах. В международных документах астрономическая единица обозначается как AU или au (от англ. *astronomical unit*).

Такое определение астрономической единицы удовлетворяет не только любителей, но и большинство профессиональных астрономов. Однако специалисты по астрометрии и астродинамике предпочитают более точное определение, например: астрономическая единица — это исторически сложившаяся единица измерения расстояний в астрономии, равная $149\,597\,870 \pm 2 \text{ км}$. При этом размер большой полуоси оскулирующей (т. е. мгновенной) орбиты Земли уже не рассматривается в качестве эталона длины, поскольку он действительно немного изменяется со временем под действием возмущений со стороны других планет. Разумеется, под «орбитой Земли» имеется в виду не траектория центра планеты Земля, а траектория барицентра (центра массы) системы Земля — Луна.

Кроме того, строго говоря, определение астрономической единицы как «среднего расстояния» тоже не совсем верно. Хотя бы потому, что при кеплеровом движении по эллипсу среднее по времени расстояние $\langle r \rangle$ не равно большой полуоси эллипса (a), а равно $\langle r \rangle = a(1 + e^2/2)$; хотя при этом верно равенство $\langle 1/r \rangle = 1/a$.

При аксиоматическом подходе астрономическую единицу определяют как радиус круговой орбиты, на которой тело пренебрежимо малой массы в отсутствие возмущений совершает оборот вокруг Солнца за $2\pi/k$ суток, где k — гравитационная постоянная Гаусса. Это расстояние чуть меньше, чем большая полуось орбиты Земли. Поскольку гауссова гравитационная постоянная принята как константа, то действительно можно также сказать, что астрономическая единица — это исторически сложившаяся единица измерения расстояний в астрономии, равная $149\,597\,870 \text{ км}$, а большая полуось орбиты Земли в каждую эпоху немного отличается от этого значения.

Указанное выше значение астрономической единицы ($149\,597\,870 \pm 2 \text{ км}$) было получено на основе различных измерений прошлых лет и в 1976 г. принято Международным астрономическим союзом (МАС) как одна из производных постоянных в системе астрономических постоянных для стандартной эпохи J2000,0. Это значение рекомендовано для астрономических вычислений (чтобы сделать их взаимно сравнимыми), и рекомендация пока сохраняется.

Однако для вычисления траекторий полёта межпланетных зондов и других высокоточных исследований требуется более высокая точность измерения астрономической единицы, поэтому значение 1 а. е. постоянно уточняется с помощью телеметрических измерений сигналов от самих межпланетных зондов и радиолокационных измерений расстояний до планет и астероидов. В настоящее время значение астрономической единицы измерено со среднеквадратичной погрешностью 3 м и равно $149\,597\,870\,700 \pm 3 \text{ м}$. Это значение можно назвать «текущим». А большая полуось земной орбиты, фигурирующая в небесно-механических расчётах, составляет $149\,598\,261 \text{ км} = 1,00000261 \text{ а. е.}$ (эпоха J2000,0).

АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — научное учреждение, предназначенное для практического изучения небесных объектов и астрономических явлений.

Первые крупные специализированные астрономические обсерватории появились

в Средние века в Азии и на Среднем Востоке. В эпоху Просвещения крупнейшую обсерваторию создал датский астроном Тихо Браге. В его обсерватории Ураниборг («Небесный замок») на острове Вен в проливе Зунд, близ Копенгагена, было множество стационарных инструментов (усовершенствованные квадранты, секстанты, армиллярные сферы), мастерские, библиотека, химическая лаборатория, бумажная мельница и печатный станок. К концу XVI в. Тихо и его помощники, наблюдая невооружённым глазом, достигли со своими приборами точности измерений в 1 угловую минуту.

Создание Галилеем телескопа (1609) предъявило к астрономическим обсерваториям новые требования — стали необходимыми высокая прозрачность, спокойствие и чистота атмосферы. Поэтому обсерватории стали перемещаться из центров культуры (храмы, университеты) сначала за город, а позже — в высокогорье. Со второй половины XVII в. для обеспечения мореплавания и картографии правительства разных стран начали учреждать государственные обсерватории. В 1669 г. была основана Королевская обсерватория в Париже, а в 1675 г. — Королевская Гринвичская обсерватория близ Лондона. В те же годы были основаны обсерватории в Копенгагене (Дания), Лунде (Швеция) и Данциге (Польша). Их основной целью было наблюдение небесных светил для определения географических координат и времени.

Открытия новых планет, астероидов, двойных звёзд, туманностей, совершённые в XVIII — начале XIX в. Дж. Кассини, Ш. Мессье, В. Гершелем, стимулировали появление новых обсерваторий. Были основаны Морская обсерватория США в Вашингтоне (1830), Пулковская обсерватория Императорской академии наук в Санкт-Петербурге (1839), Потсдамская обсерватория в Германии (1874). Рождение фотографии и спектрального анализа (середина XIX в.) резко усилило интерес к астрофизическим исследованиям. Во многих странах стали создаваться специализированные обсерватории для изучения физики Солнца и звёзд. Большое развитие они получили в США: Гарвардская, Ликская, Ловеловская, Маунт Вилсон



Обсерватория «Сфинкс» в Альпах

и Маунт Паломар (с 1948 по 1975 г. имевшая крупнейший в мире телескоп с главным зеркалом диаметром 5 м). На территории бывшего СССР в горах были созданы Абастуманская астрофизическая обсерватория (Грузия, 1932), Бюраканская астрофизическая обсерватория (Армения, 1946), Крымская астрофизическая обсерватория (1945) и др. В горах Северного Кавказа была создана (1966) Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР с 6-метровым телескопом БТА (см. *Большой телескоп альт-азимутальный*), который с 1975 по 1993 г. был крупнейшим в мире.

До середины XX в. большинство астрономических обсерваторий располагалось в Северном полушарии, поэтому южное небо оказалось изучено значительно хуже северного. После Второй мировой войны европейские и американские астрономы интенсивно стали создавать крупные обсерватории к югу от экватора — в Австралии, Южной Африке, Чили, а также в районе экватора — например, на Канарских и Гавайских островах. Эти обсерватории располагаются на вершинах гор, в большинстве случаев на высоте от 2000 до 4000 м, и оснащены телескопами диаметром 8–10 м.

С середины XX в. сооружаются радиоастрономические обсерватории, часто выполняющие не только научные, но и практические задачи (радиолокация, связь с кос-

мическими аппаратами). В конце XX в. появились первые нейтринные и гравитационно-волновые обсерватории. Регулярно на орбиту выводят автоматические телескопы гамма-, рентгеновского, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов спектра, для которых атмосфера Земли непрозрачна. Изредка в космос запускают и крупные оптические телескопы для получения более чётких и стабильных изображений, чем это удаётся с поверхности Земли. Крупнейший из них — космический телескоп «Хаббл» (NASA, ESA, с 1990 г.) диаметром 2,4 м. По сути, каждый космический инструмент — это полноценная обсерватория, персонал которой находится на Земле.

В очень небольшом количестве существуют мобильные обсерватории, крупнейшая из которых — SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy), принадлежащая NASA и Немецкому аэрокосмическому центру. Это лайнер Боинг-747, на борту которого смонтирован телескоп диаметром 2,5 м. С его помощью проводятся наблюдения на высотах до 12,5 км в оптическом и ИК-диапазонах (от 0,3 до 655 мкм). Кратковременные наблюдения проводятся также с борта беспилотных высотных аэростатов, поднимающихся на высоту от 35 до 42 км.

АСТРОНОМИЯ (греч. *astron* звезда + *nomos* закон) — наука о строении и развитии космических тел, их систем и Вселенной в целом. Астрономы изучают движение и природу Солнца, Луны, планет, звёзд, галактик и других небесных тел. Принято считать, что все астрономические объекты располагаются за пределами Земли, однако астрономы изучают и саму Землю как планету, дополняя при этом сведения о ней, полученные другими науками — геологией, геофизикой и др.

Астрономия — одна из древнейших наук, тысячи лет назад освоившая точные, математические методы анализа наблюдений. Поскольку астрономические объекты чрезвычайно удалены, астрономия — наука наблюдательная, в основном использующая дистанционные методы измерения. По методам исследования астрономия подразделяется на оптическую астрономию, радиоастрономию, рентгеновскую астрономию,

гамма-астрономию, нейтринную астрономию, гравитационно-волновую астрономию и др. Как наиболее древнее направление, оптическая астрономия, в свою очередь, подразделяется на астрометрию (изучение видимого положения и движения небесных светил), астротометрию (измерение потоков излучения от светил), астроспектроскопию и др. По объектам исследования выделяются 5 важнейших направлений астрономии: Солнце, планеты и малые тела Солнечной системы, звёзды, межзвёздная среда, мир галактик. На стыке астрономии с другими естественными науками развились такие ветви, как астрофизика, космология, астробиология, химия межзвёздной среды, численное моделирование космических процессов и т. п.

Практическими задачами в основном занимаются национальные обсерватории и крупные астрономические институты, такие как Главная астрономическая (Пулковская) обсерватория РАН и Институт прикладной астрономии РАН в Санкт-Петербурге, Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга (МГУ) и Астрономический институт РАН в Москве, Морская обсерватория США в Вашингтоне, Королевская Гринвичская обсерватория в Кембридже (Англия). Большинство же астрономов на других обсерваториях занято изучением различных объектов Вселенной.

Помимо профессиональных учёных, работающих на крупных и хорошо оснащённых государственных и университетских обсерваториях, в мире есть сотни энтузиастов-любителей, которые в свободное время проводят самостоятельные наблюдения, нередко имеющие научную ценность.

Последние десятилетия развития астрономии отмечены непрерывной чередой фундаментальных открытий, причём затухания этого потока пока не ощущается. Обнаружение принципиально новых видов материи (тёмная материя, тёмная энергия), новых свойств элементарных частиц (осцилляции солнечного нейтрино) и гравитационных волн поставили современную астрономию в авангарде физических наук.

АСТРОСЕЙСМОЛОГИЯ (от греч. *astron* звезда, *seismos* землетрясение и *logos* учение),

или **звёздная сейсмология**, изучает внутреннюю структуру звёзд путём исследования частотных спектров наблюдаемых колебаний их поверхности. Различные моды пульсаций проникают на разные глубины внутрь звезды, позволяя получить информацию о не наблюдаемых иными способами внутренних слоях звёзд, так же как сейсмологи исследуют недра Земли и других твёрдых планет, анализируя колебания поверхности, вызванные землетрясениями или специальными взрывами. Колебания, изучаемые астросейсмологами, вызываются потоком тепловой энергии из недр звезды, который под действием некоторых физических процессов преобразуется в кинетическую энергию колебаний. Частоты колебаний дают информацию о профиле плотности в тех областях, где волны возникают и распространяются. Их спектр позволяет судить и о химическом составе этих областей.

Одно из направлений астросейсмологии — гелиосейсмология (солнечная сейсмология), изучающая колебания Солнца, возбуждаемые конвекцией в его внешних слоях. Развитие астросейсмологии началось именно с гелиосейсмологии, поскольку фиксировать колебания поверхности Солнца значительно легче, чем далёких звёзд. Наблюдения аналогичных колебаний на других звёздах являются новой и активно развивающейся областью астросейсмологии.

АСТРОФИЗИКА — раздел астрономии, изучающий астрономические объекты и явления физическими методами. По сравнению с лабораторной, экспериментальной физикой особенность астрофизики заключается в том, что с астрономическими объектами (кроме объектов Солнечной системы) невозможно экспериментировать: их можно только наблюдать, изучая приходящее от них излучение (свет, радиоволны и т. д.) и лишь в редчайших случаях — частицы вещества (например, космические лучи).

Астрофизика родилась благодаря изобретению спектрального анализа и фотографии в середине XIX в. Вместе с телескопом спектрограф до сих пор остаётся главным инструментом астрофизиков, хотя к нему добавились и другие приборы для анализа света — полириметры, болометры, маг-

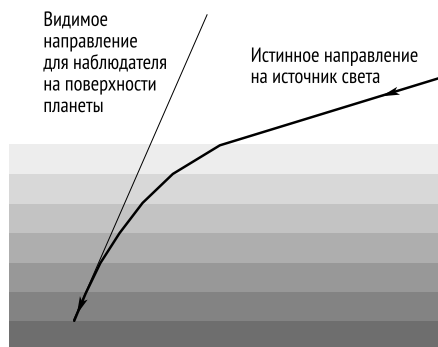
нитографы и т. п. С середины XX в. важным инструментом астрофизики стал радиотелескоп; в конце века были созданы нейтринные телескопы, а в начале XXI в. — детекторы гравитационных волн.

АТМОСФЕРА ПЛАНЕТЫ — газовая среда вокруг планеты, гравитационно связанная с ней. Например, атмосфера Земли — это её газовая «оболочка», состоящая (у поверхности) из азота (78%), кислорода (21%), аргона (менее 1%), углекислого газа, водорода, гелия, неона и других элементов. В нижних слоях атмосферы присутствует водяной пар (до 3%); на высотах 20–25 км имеется слой озона, предохраняющий всё живое от губительного действия солнечных ультрафиолетовых лучей, которые ионизуют молекулы и атомы воздуха, образуя выше 100 км ионосферу. Форма внешних слоёв ионосферы контролируется магнитным полем Земли, которое вследствие действия солнечного ветра имеет вид вытянутой капли.

АТМОСФЕРНАЯ РЕФРАКЦИЯ — преломление в атмосфере планеты световых лучей, приходящих от объектов наблюдения, в результате чего направление лучей, достигших наблюдателя, отличается от их первоначального направления. Часто это явление называют также «астрономической рефракцией», имея в виду наблюдения с поверхности планеты удалённых объектов, находящихся далеко за пределом атмосферы. Вследствие рефракции наблюдаемая высота светила над горизонтом увеличивается.

Степень рефракции зависит от угла падения луча на границу атмосферы. При наблюдении светила в зените угол рефракции равен нулю. А у горизонта рефракция достигает максимального значения: для наблюдателя на уровне моря её угол составляет около 35' — это чуть больше диаметра диска Луны или Солнца. Мы видим сквозь атмосферу, что диск Луны или Солнца нижним краем коснулся горизонта, но если бы атмосфера не искажала направление лучей света, то в этот момент мы бы уже не увидели их диски, так как они скрылись бы под горизонтом. Таким образом, рефракция помогает нам заглянуть за горизонт.

Благодаря атмосферной рефракции в момент полного лунного затмения солнеч-



Рефракция в плоской атмосфере. Изменение плотности воздушных слоёв для простоты показано ступенчатым. Величина рефракции значительно преувеличена.

ный свет частично попадает на диск Луны, пройдя сквозь атмосферу Земли. В основном проходит красный свет, поскольку голубой рассеивается в атмосфере; из-за этого во время лунного затмения диск Луны красный. Этим же эффектом объясняется явление «зелёного луча» Солнца.

При не очень больших видимых зенитных расстояниях светил ($z < 70^\circ$) угол рефракции в визуальных лучах можно представить аналитически:

$$R = 58,2'' \operatorname{tg} z,$$

где число $58,2''$ называют коэффициентом средней рефракции; оно равно рефракции при $z = 45^\circ$, при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) и температуре $+10^\circ\text{C}$.

АТМОСФЕРНАЯ ЭКСТИНКЦИЯ — ослабление блеска небесных объектов по причине рассеяния и поглощения света в земной атмосфере. Экстинкция меняется при изменении состояния атмосферы и зависит от длины волны света, высоты наблюдательного пункта над уровнем моря и зенитного расстояния наблюдаемого объекта. При точных фотометрических работах необходимо измерять атмосферную экстинкцию и учитывать её влияние, корректируя результаты фотометрии. Чтобы иметь возможность сравнивать измерения одного объекта, проведённые в разных обсерваториях при различной высоте объекта над горизонтом, нужно непосредственно измеренные значения «привести к зениту» и «вынести за атмосферу».

На уровне моря при наблюдении в зените в условиях чистого воздуха экстинкция составляет $0,5^m$ (т. е. 35%) для фиолетового, $0,2^m$ для жёлтого и $0,05^m$ (т. е. 5%) для глубокого красного цвета. Это и есть поправки для «выноса за атмосферу». С ростом зенитного расстояния (z) экстинкция (в звёздных величинах) растёт как секанс z (закон Буге):

$$m_\lambda = m_{\lambda,z} - a_\lambda \sec(z),$$

где m_λ — звёздная величина объекта на длине волны λ вне атмосферы, $m_{\lambda,z}$ — звёздная величина на длине волны λ и на зенитном расстоянии z , a_λ — коэффициент экстинкции на длине волны λ . Коэффициент экстинкции a_λ необходимо измерять несколько раз в течение ночи путём наблюдения одной или нескольких звёзд-стандартов. При $z > 60^\circ$ зависимость более сложная: при больших зенитных расстояниях экстинкция возрастает нелинейно. В визуальной (жёлтой) области экстинкция достигает $1,2^m$ при $z = 80^\circ$ и 5^m и даже более — у горизонта.

АТМОСФЕРНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ — см. *Атмосферная экстинкция*.

АТМОСФЕРНЫЕ ОКНА — интервалы на шкале электромагнитных волн, в которых земная атмосфера полностью или частично прозрачна. Все спектральные области в какой-то мере искажены поглощением в атмосфере, но есть две почти прозрачные области: оптическое окно и радиоокно. Кроме того, существует несколько узких, частично прозрачных инфракрасных окон.

Оптическое окно пропускает видимый свет в интервале от 295 нм (границей служит линия озона O_3) до 760 нм (граница — полоса молекулярного кислорода O_2). Более короткие волны блокируются атомами и молекулами кислорода, азота и других газов, а также водородом и гелием в геокороне.

Радиоокно простирается от длины волны 1 мм до 30 м. Более длинные волны отражаются ионосферой, а более короткие подвержены всё возрастающему молекулярному поглощению.

Несколько узких инфракрасных окон имеется в области микрометров. В астрофотометрии эти области обозначены как J (1,25 мкм), H (1,6 мкм), K (2,2 мкм), L (3,6 мкм), M (5,0 мкм), N (10,2 мкм) и Q (21 мкм). Суще-

ствуют два очень узких, но очень полезных окна на длинах волн 350 и 460 мкм. Так как одним из основных поглотителей в инфракрасной области являются пары воды, телескопы для наблюдения в этой области должны располагаться в сухих и горных районах, где понижено содержание водяного пара и атмосфера более тонкая.

АФЕЛИЙ (греч. *aphelios* от *apo* вдали и *helios* солнце) — наиболее удалённая от Солнца точка орбиты планеты или иного тела Солнечной системы.



Видимый размер солнечного диска в моменты прохождения Земли через перигелий и афелий её орбиты

АХОНДРИТЫ — тип каменных метеоритов, которые образовались путём кристаллизации расплавленных каменных масс. Не имеют хондр, в отличие от метеоритов-хондритов. По сравнению с хондритами для них характерно большее содержание богатых кальцием минералов. С другой стороны, в них намного меньше металлов и сульфидных минералов. См. *Хондриты*.

АХРОМАТ (от греч. *achromatos* бесцветный) — сложная линза, состоящая из двух линз (собирающей и рассеивающей), изготовленных из неодинаковых по дисперсии света сортов стекла и, как правило, склеенных между собой. По сравнению с одиночной линзой у ахромата существенно уменьшена хроматическая аберрация: путём подбора линз добиваются того, что лучи света каких-либо двух длин волн сходятся в один фокус точно, а остальные лучи сходятся в значительной степени. Передняя линза обычно положительная, имеет заметный хроматизм, вторая — отрицательная, имеет хроматизм другого знака, увеличивает фокусное расстояние объектива и уменьшает

его хроматическую аберрацию, сводя красные и фиолетовые лучи в одном фокусе.

Б

БАЗА ДАННЫХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ — электронный каталог, поддерживаемый NASA, содержащий данные об объектах за пределами нашей Галактики, т. е. о других галактиках, квазарах и т. п. Официальное название — NASA/IPAC Extragalactic Database (NED).

БАЗА ДАННЫХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ЛИОН-МЕДОН (Lyon-Meudon Extragalactic Database, LEDA) — электронный каталог данных о физических параметрах галактик. В 2000 г. слился с базой Hypercat и теперь вместе они носят имя HyperLeda и содержат данные о 3 млн небесных объектов, из которых 1,5 млн галактик.

БАЛДЖ ГАЛАКТИКИ (англ. *bulge* вздутие) — центральная, наиболее яркая часть сферической составляющей дисковой галактики; как и вся сферическая составляющая, балдж состоит из старых звёзд, движущихся по вытянутым орбитам. Внешне балдж выглядит как центральное утолщение диска галактики. В центре балджа обычно имеется очень плотное ядро.

БАЛЛОННАЯ АСТРОНОМИЯ — исследование, проводимые при помощи приборов (оптических телескопов, микроволновых и инфракрасных детекторов), поднятых с помощью аэростатов на высоту от 20 до 40 км, где влияние атмосферы на результаты наблюдений незначительно.

БАЛЬМЕРОВСКИЕ ЛИНИИ — см. *Линии Бальмера*.

БАЛЬМЕРОВСКИЙ СКАЧОК — резкое падение интенсивности излучения в спектрах звёзд, начинающееся вблизи границы бальмеровской серии ($3646 \text{ \AA} = 364,6 \text{ нм}$; $h\nu = 3,4 \text{ эВ}$) и простирающееся в сторону более коротких длин волн. Этот скачок вызван резким увеличением коэффициента поглощения для квантов с энергией больше $3,4 \text{ эВ}$, которые ионизуют атомы водорода, находящиеся на первом возбуждённом энергетическом уровне. Далее коэффициент поглощения убывает пропорционально ν^{-3} , а интенсивность излучения в спектре возраста-

ет (поскольку становятся видны более глубокие слои атмосферы звезды).

БАР ГАЛАКТИКИ (англ. *bar* — перемычка) — элемент структуры многих спиральных и неправильных галактик; выглядит как вытянутое уплотнение из звёзд и межзвёздного газа, лежащее в плоскости диска. Центр бара обычно совпадает с центром диска. Если у галактики есть бар, то спиральные ветви начинаются от концов бара, а не из центра галактики.

БАРИОННОЕ ВЕЩЕСТВО — вещество, основой которого служат барионы — тяжёлые элементарные частицы, т. е. протоны и нейтроны, вместе называемые нуклонами, а также ряд короткоживущих частиц, которые при распаде порождают протоны. Всё вещество, с которым мы имеем дело в лаборатории и из которого сами состоим, является барионным.

БАРИОНЫ — общее название адронов (сильно взаимодействующих элементарных частиц) с полуцелым спином (выраженным в единицах $\hbar = h/2\pi$, где h — постоянная Планка). К барионам относятся нуклоны, гипероны, барионные резонансы (короткоживущие частицы, распадающиеся на барионы и мезоны). Барионы состоят из трёх кварков, связь между которыми осуществляется глюонным полем. На расстояниях 10^{-13} см (размер атомного ядра) между барионами действуют очень большие силы, экспоненциально уменьшающиеся с расстоянием. Это так называемое сильное взаимодействие, удерживающее, в частности, нуклоны в ядрах атомов, т. е. порождающее ядерные силы. Между заряженными барионами действуют также электромагнитные силы, однако на расстояниях меньше 10^{-13} см они оказываются значительно слабее ядерных сил.

БАРИЦЕНТР (от греч. *baros* тяжесть + «центр») — центр масс физического тела сложной формы, а также системы двух или большего количества тел.

БАРНАРДА ЗВЕЗДА — звезда в созвездии Змееносец. Каталожные обозначения: BD+04°3561a, Gliese 699, HIP 87937 и др. Неофициальные названия: звезда Барнарда, Летящая звезда Барнарда, Проксима Змееносца и др. Визуальная звёздная ве-

личина 9,5^m. Расстояние от Солнца 1,83 пк. По расстоянию от нас это четвертая звезда после трёх компонентов системы Альфа Кентавра (α Cen). Координаты звезды Барнарда на эпоху и равноденствие J2000,0: $\alpha = 17^h 57^m 48,5^s$; $\delta = +04^\circ 41' 36''$.

Звезда Барнарда знаменита тем, что обладает максимальным среди известных звёзд собственным движением, которое впервые измерил в 1916 г. Эдуард Барнард. За год эта звезда проходит на небосводе относительно более далёких «неподвижных» объектов путь в 10,3", а за 180 лет смещается на величину поперечника лунного диска. Это холодный красный карлик спектрального класса M4Ve. Его масса 0,16 $M_\odot$, радиус 0,17 $R_\odot$, болометрическая светимость 0,0035 $L_\odot$, визуальная светимость 0,00043 $L_\odot$. Его металличность в несколько раз ниже солнечной, а возраст — вдвое больше. Хотя звезда очень старая, изредка она демонстрирует вспышечную активность. Звезда Барнарда стремительно приближается к нам: её лучевая скорость относительно Солнца составляет −111 км/с. Через 9 тыс. лет она окажется на таком же расстоянии от нас, как α Cen, но затем начнет удаляться.

Поскольку масса этой звезды почти в 6 раз меньше массы Солнца, влияние на неё соседей-планет (если они есть) должно быть весьма заметным. Более полувека, начиная с 1938 г., движение этой звезды изучал американский астроном Питер ван де Камп (1901–1995). Он измерил её положение на тысячах фотопластинок и заявил, что у звезды наблюдается волнообразная траектория с амплитудой покачиваний около 0,02", а значит, вокруг неё обращается спутник. Из расчётов следовало, что масса спутника чуть больше массы Юпитера, а радиус его орбиты 4,4 а. е. В начале 1960-х гг. это сообщение получило широкий резонанс в мире. Но не все астрономы согласились с выводами П. ван де Кампа. Продолжая наблюдения и увеличивая точность измерений, американский астроном Джордж Гейтвуд и его коллеги к 1973 г. выяснили, что звезда Барнарда движется ровно, без колебаний, а значит, массивных планет в качестве спутников не имеет. Однако в 2018 г. доплеровским методом у звезды Барнарда была обнаруже-

на планета втрое массивнее Земли на орбите с периодом 233 сут.

БАРСТЕР (англ. *burst* вспышка) — вспыхивающий космический источник рентгеновского излучения (рентгеновский барстер, X-ray burster, XRB) с периодичностью повторения вспышек от нескольких минут до нескольких десятков часов. Во время вспышки демонстрирует быстрое возрастание яркости (за 0,2–10 с) и более медленный спад (за 3–100 с). В максимуме вспышки светимость обычно увеличивается в 10 и более раз. Первый барстер был обнаружен в 1975 г. с помощью голландского спутника ANS (Astronomische Nederlands Satelliet). К 1985 г. уже было открыто свыше 30 барстеров, а к 2000 г. — более 50. Восемь из них находятся в шаровых звёздных скоплениях, что непропорционально много, учитывая, сколь малая доля звёзд Галактики содержится в этих скоплениях. Большинство барстеров расположено в пределах 30° от направления на галактический центр, что свидетельствует об их принадлежности к сферической подсистеме Галактики. Следовательно, если считать средние расстояние до барстера по порядку величины совпадающим с расстоянием до центра Галактики (8 кпк), то данные наблюдений позволяют оценить рентгеновскую светимость барстера во время вспышки ($L_X \approx 10^{30} - 10^{31}$ Вт) и полную энергию излучения за это время в рентгеновском диапазоне ($E_X \approx 10^{31} - 10^{32}$ Дж).

У некоторых барстеров наблюдались как рентгеновские, так и оптические всплески излучения, близкие по продолжительности, но с запаздыванием оптического всплеска на $t \approx 3$ с относительно рентгеновского. Наличие оптического «эха» позволяет предположить, что барстер — тесная двойная звёздная система, в которой рентгеновское излучение одного компонента поглощается и переизлучается в оптическом диапазоне другим компонентом, находящимся на расстоянии $\Delta r \sim ct \approx 10^9$ м.

Вспышки подавляющего большинства известных барстеров объясняются термоядерными взрывами гелия в вырожденном веществе на поверхности нейтронных звёзд, входящих в тесные двойные системы. Максимальная светимость в процессе взрыва

достигает эддингтоновского предела для объекта с массой порядка солнечной. Полная энергия одного взрыва обычно составляет $10^{32} - 10^{33}$ Дж. Такие взрывы могут происходить регулярно, если в тесной двойной системе с поверхности нормальной звезды-донора на нейтронную звезду происходит непрерывная аккреция газа, масса которого там постепенно накапливается вплоть до критической. В результате аккреции газа выделяется также его гравитационная энергия, обеспечивающая постоянную рентгеновскую светимость на уровне порядка 10^{30} Вт. Интервал между вспышками может меняться в 3–4 раза. Если для описания спектра рентгеновской вспышки принять закон излучения Планка, то радиус излучающей области составит около 10 км.

Иногда аккреция происходит неравномерно, и это тоже вызывает рентгеновские вспышки. У одного из барстеров (MXB 1730-335, названного Быстрым барстером) обнаружены оба типа вспышек — аккреционные и термоядерные: вспышки с интервалами около 100 с (вспышки 2-го типа) прерываются раз в 34 ч обычной вспышкой (1-го типа). Вероятной причиной неравномерной аккреции считают взаимодействие падающего газа с магнитосферой нейтронной звезды: накапливаясь поверх магнитосферы, газ время от времени прорывает её и падает крупными порциями на поверхность.

Орбитальные периоды барстеров оказались меньше 10 часов. Очевидно, что барстеры представляют собой тесные двойные системы из красного карлика (массой менее $1 M_\odot$) и нейтронной звезды. В такой системе красный карлик, заполнив в процессе эволюции полость Роша (см. *Полость Роша*), начинает терять вещество, которое перетекает на нейтронную звезду. Если в момент загорания водорода или гелия вещество на поверхности нейтронной звезды вырождено, то развивается тепловая вспышка, приводящая к быстрому росту температуры и выделению за короткое время большого количества энергии, главным образом в виде рентгеновского излучения.

Существенным доводом в пользу термоядерной модели барстеров служит наблюдательный факт, что у барстеров отношение

энерговыведения в период между вспышками (связанного с аккрецией) к энерговыведению во время всплеска рентгеновского излучения (термоядерный взрыв той же массы вещества) близко к 100. Такое же значение этого отношения следует из теории: оно практически совпадает с отношением гравитационной энергии вещества на поверхности нейтронной звезды (10^{16} Дж/кг) к энергии, выделяемой при термоядерном сгорании гелия (10^{14} Дж/кг).

БАШНЯ ТЕЛЕСКОПА — помещение, в котором располагается стационарный телескоп. Служит как укрытие от непогоды, а во время наблюдений — от ветра. В верхней части обычно имеет поворачивающийся купол сферической, конической или цилиндрической формы с раскрывающимся люком («щелью»), сквозь который телескоп наблюдает небо.



Башня 200-дюймового рефлектора Паломарской обсерватории (Калифорния) с полусферическим куполом и раздвигающимися створками щели

БАШЕННЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ТЕЛЕСКОП — телескоп для наблюдения Солнца, труба которого выполнена в виде высокой неподвижной башни, ориентированной либо вертикально, либо вдоль земной оси. Для ведения за Солнцем в верхней части трубы располагается целостат. Такая конструкция значительно удешевляет телескоп, позволяет делать его длиннофокусным и уменьшить влияние приземной турбулентности.

БЕЛАЯ ДЫРА — гипотетический физический объект, по своим свойствам во многом противоположный чёрной дыре. Как понятие в рамках теоретической физики белая дыра является одним из решений уравнений общей теории относительности Эйн-



Башенный солнечный телескоп обсерватории Маунт-Вилсон (Калифорния)

штейна; при определённых условиях оно подобно решению для чёрной дыры, но с обращённой стрелой времени. Так, если чёрная дыра может только поглощать материю, то белая дыра — только извергать ее. Для внешнего наблюдателя белая дыра должна выглядеть как взрывное рождение вещества и излучения из сингулярности. Теоретически белую дыру как особенность пространства-времени, возможную в рамках общей теории относительности, предсказал И. Д. Новиков в 1963 г. Он полагал, что белые дыры могут служить источниками гигантской энергии, выделяющейся в квазарах. Позже Я. Б. Зельдович, В. П. Фролов и др. доказали, что белая дыра подвержена классической и квантовой неустойчивости.

Сложная топология пространства-времени в принципе допускает существование коротких «горловин» («тоннелей»), связывающих чёрную и белую дыры, расположенные очень далеко друг от друга, даже в разных вселенных. Согласно простой математической модели, упав в чёрную дыру, можно вылететь из белой дыры, быстро преодо-

лев огромное пространство. Но более детальные расчёты показывают, что горловина неустойчива: попадающее в неё вещество и даже излучение своей гравитацией заставляют её «схлопываться», превращаясь в сингулярность. А белые дыры под действием гравитации вещества, рождающегося внутри них и падающего на них снаружи, быстро превращаются в чёрные дыры. Поэтому в естественных условиях белые дыры, по-видимому, существовать не могут.

БЕЛЫЙ КАРЛИК — маленькая звезда размером с Землю, но при этом весьма массивная (приблизительно как Солнце) и поэтому очень плотная: в среднем её вещество в миллион раз плотнее воды. Заметить в телескоп столь маленькую звезду обычно удаётся, лишь если её поверхность имеет очень высокую температуру, а значит, белый цвет. Но по мере остывания белого карлика его цвет меняется по закону Вина, постепенно перемещаясь в красный, а затем и в инфракрасный диапазон. Исторически название «белый карлик» связано с цветом первых открытых представителей этого класса — Сириуса В и 40 Эридана В — горячих белых звёзд. Позднее были открыты и более холодные жёлтые и красные белые карлики. Все они относятся к звёздам, находящимся на одной из конечных стадий эволюции.

Белый карлик представляет собой сжавшееся ядро нормальной звезды, которая после стадии красного гиганта и исчерпания топлива на заключительном этапе эволюции сбрасывает с себя оболочку (см. *Планетарная туманность*). Лишённый термоядерного источника энергии, белый карлик противостоит гравитационному сжатию лишь за счёт давления вырожденного электронного газа, возникающего при высокой плотности вещества в силу квантовомеханического принципа Паули. Поэтому белые карлики называют вырожденными звёздами. Теория указывает, что чем выше масса, тем меньше размер белого карлика. Более того, для его массы существует верхний предел — предел Чандрасекара (около $1,4 M_{\odot}$), при котором белый карлик формально должен сжаться до нуля, а фактически — превратиться в нейтронную звезду. Сжатию нейтронных звёзд противосто-

ит давление вырожденного нейтронного газа, поэтому их тоже называют вырожденными звёздами.

Впрочем, ни белый карлик, ни нейтронная звезда не являются звёздами в точном смысле этого слова, поскольку в их недрах не протекают термоядерные реакции. В действительности это остатки звёздной эволюции. Но по традиции их называют звёздами. Среди 100 ближайших к Солнцу звёзд (одиночных и кратных) обнаружено 8 белых карликов. По количеству белые карлики составляют от 3% до 10% всех звёзд Галактики.

Первый белый карлик (40 Eri B) в составе тройной звезды 40 Эридана обнаружил Вильям Гершель 31 января 1783 г. Разумеется, о природе этого объекта он не догадывался. Только в 1910 г. американские астрономы Генри Норрис Рассел, Эдуард Пикеринг и Вильямина Флеминг обнаружили, что у звезды 40 Eri B спектральный класс А, т. е. это белая горячая звезда, слабый блеск которой говорит о её очень маленьком размере. Термин «белый карлик» (англ. *white dwarf*) предложил в 1922 г. американский астроном Виллем Лёйтен (Willem Luyten, 1899–1994).

Физика белых карликов. Масса белого карлика (M) сравнима с массой Солнца $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33}$ г, но его радиус (R) примерно в 100 раз меньше радиуса Солнца $R_{\odot} = 7 \cdot 10^{10}$ см. Поэтому средняя плотность вещества белого карлика ($\sim 10^6$ г/см³) в миллионы раз выше плотности нормальных звёзд. Белые карлики существуют благодаря устойчивому равновесию между силой гравитации и давлением вырожденного газа электронов, которое определяется практически только плотностью вещества и почти не зависит от его температуры и химического состава. Вследствие однозначной связи давления с плотностью теория предсказывает однозначное соотношение между M и R : чем больше масса белого карлика, тем меньше его радиус. Более того, должен существовать верхний предел массы — чандрасекаровский предел $M_{\text{Ch}} \approx 1,4 M_{\odot}$, превышение которого на поздних стадиях эволюции приводит к гравитационному коллапсу звезды.

Существование предела массы у белого карлика (он был рассчитан С. Чандрасекаром в 1931 г.) объясняется тем, что с ростом

плотности скорость электронов приближается к предельной, т. е. к скорости света. Из-за этого давление p растёт с плотностью ρ недостаточно быстро ($p \sim \rho^{4/3}$), чтобы удерживать звезду в устойчивом равновесии. Для устойчивости равновесия необходим более быстрый рост давления, чем при показателе степени $4/3$. Потере устойчивости способствуют также нейтронизация вещества и эффекты общей теории относительности.

По современным представлениям, белый карлик образуется из нормальной звезды с начальной массой в несколько масс Солнца после исчерпания термоядерного горючего в её центральной области, сжатия ядра и сброса внешних слоёв, окружающих это плотное ядро. Конечная масса белого карлика всегда меньше $1,4 M_{\odot}$. После сброса оболочки ядро звезды, практически лишённое источников термоядерной энергии, имеет очень высокую температуру поверхности ($T_{\text{п}} \approx 2 \cdot 10^5$ K) и постепенно остывает, превращаясь в белый карлик. У наиболее горячего среди известных белых карликов $T_{\text{п}} \approx 1,5 \cdot 10^5$ K, у наиболее холодных — около $4 \cdot 10^3$ K. Основным источником светимости белого карлика служит просто остывание, т. е. расход тепловой энергии ионов, запасаённой в недрах звезды. На стадии образования и начального остывания существенную роль в эволюции белого карлика играют нейтринные потери. Теория остывания одиночных белых карликов предсказывает связь светимости (L) с возрастом, в общих чертах подтверждаемую наблюдениями ($L \sim 10^{-3} L_{\odot}$ соответствует возрасту $\sim 10^9$ лет). При очень низких светимостях ($< 10^{-4} L_{\odot}$) в недрах белого карлика должна происходить кристаллизация, однако точность наблюдений пока недостаточна, чтобы заметить её эффекты. Если белый карлик входит в тесную двойную систему, то существенный вклад в его светимость может давать термоядерное горение на его поверхности вещества, аккрецируемого со звезды-спутника. Это горение имеет, по-видимому, нестационарный характер, что, возможно, объясняет вспышки новых и новоподобных звёзд.

Спектры белых карликов сильно отличаются от спектров обычных звёзд. Линии поглощения в них сильно уширены. Кроме то-

го, они испытывают гравитационное красное смещение, эквивалентное скорости в несколько десятков километров в секунду. Оба эффекта помогают проверить теоретическое соотношение «масса — радиус». Химический состав атмосфер белых карликов, определяемый по спектрам, также очень необычен. У большинства из них атмосферы состоят почти из чистого водорода, содержание других элементов в десятки и сотни раз ниже, чем у нормальных звёзд. В то же время в недрах этих белых карликов водорода не должно быть, иначе они взорвались бы из-за быстрого выделения энергии при термоядерных реакциях. У других белых карликов основной элемент атмосфер — гелий, а водорода в сотни тысяч раз меньше. Такие различия объясняются эффектами эволюции, аккреции и разделения вещества в сильном гравитационном поле.

У некоторых белых карликов обнаружена сильная поляризация излучения или расщепление спектральных линий вследствие эффекта Зеемана, что указывает на существование у них магнитных полей от 10^6 до 10^8 Гс. У нескольких белых карликов обнаружены оптические пульсации с периодами 10^2 – 10^3 с.

БЕССЕЛЕВ ГОД — тропический год, за начало которого принимается момент времени, когда эклиптическая долгота среднего солнца с учетом абберрации в точности равна 280° . Бесселев год введен американским астрономом Саймоном Ньюкомом и назван в честь немецкого астронома XIX в. Фридриха Бесселя. Начало бесселева года приходится на один и тот же момент времени для любого пункта Земли. Продолжительность бесселева года равна продолжительности тропического года (т. е. одному полному обороту среднего солнца по прямому восхождению) и в сутках составляет $365,24219879 - 0,00000614T$, где T — число столетий, прошедших с 1900 г.

Указанием на стандартную (бесселеву) эпоху сначала служил суффикс «.0» в конце даты, например, 1950.0. После 1984 г., когда за стандартную эпоху был принят юлианский год, для указания бесселева года стали использовать префикс «В», например В1950.0. В конце XIX и первой половине XX в. исполь-

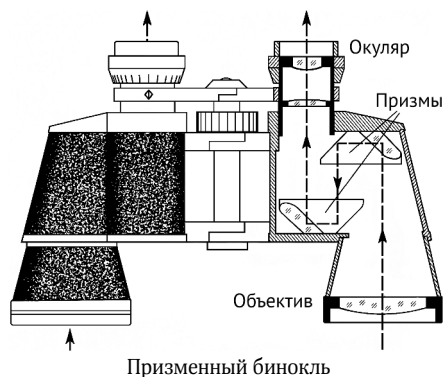
зовалась стандартная эпоха B1900.0 — начало бесселева 1900 года. При этом B1900.0 = JD 2415020,3135 = январь 0,8135^d, 1900 г. Во второй половине XX в. обычно использовалась стандартная эпоха B1950.0 — начало бесселева 1950 года: B1950.0 = JD 2433282,423 = январь 0,923^d, 1950 г. Ныне бесселев год не употребляется, а стандартной эпохой считается юлианская эпоха J2000.0.

БЕТЕЛЬГЕЙЗЕ — α Ориона, пульсирующая полуправильная переменная звезда, изменяющая свой блеск от 0,3^m до 1,2^m с периодом около 2070 сут. Расстояние от Солнца около 650 св. лет (200 пк), болометрическая светимость в 140 тыс. раз больше солнечной, масса 18–19 $M_{\odot}$. Бетельгейзе — сверхгигант спектрального класса M2Iab. Если поместить её на место Солнца, то при минимальном размере она заполнит орбиту Марса, а при максимальном достигнет орбиты Юпитера! Формально её радиус составляет около 1180 $R_{\odot}$, но намного дальше простирается плотный звёздный ветер и несколько созданных им оболочек.

Бетельгейзе находится на заключительном этапе эволюции, её возраст около 10 млн лет. Когда она взорвётся как сверхновая, её блеск на земном небосводе в несколько раз превысит блеск полной Луны.

БИНОКЛЬ, или **бинокляр** (лат. *bini* два, *oculus* глаз) — пара одинаковых зрительных труб, дающая прямое изображение. Наиболее доступный оптический прибор, который могут использовать начинающие любители астрономии для наблюдения спутников Юпитера, морей и кратеров на Луне, некоторых туманностей, двойных и переменных звёзд и звёздных скоплений.

Простейший бинокль — театральный, состоящий из пары галилеевских труб прямого зрения с отрицательными окулярами. Более мощные призмённые бинокли построены по схеме трубы Кеплера (окуляры положительные). В призмённых биноклях две отдельные или склеенные призмы в каждом из оптических каналов используются для излома световых пучков и тем самым уменьшения длины трубы. Кроме того, такая система призм поворачивает изображение и делает его прямым. Главные характеристики бинокля обычно указаны на его



Призмённый бинокль

корпусе: это увеличение (кратность) и диаметр объективов в миллиметрах. Например, полевой бинокль «7×35» имеет семикратное увеличение и объективы диаметром 35 мм. Иногда на корпусе указан и диаметр поля зрения — либо в градусах, либо в метрах на фиксированном расстоянии. Например, надпись «Field 8°, 140 m / 1000 m» говорит, что диаметр поля зрения составляет 8°, что эквивалентно углу, под которым виден объект размером 140 м с расстояния в 1 км.

В основном бинокли используются для рассматривания земных объектов, но их можно смело рекомендовать и начинающим астрономам-любителям. Для общего знакомства с ночным небом вполне годится лёгкий театральный 2,5- или 3,5-кратный бинокль с большим полем зрения. Для более детального изучения отдельных областей неба подойдет призмённый бинокль с относительно небольшим увеличением, но большим диаметром объективов: «7×50» или «8×60». Такие бинокли называют ночными или морскими.

Нужно помнить, что, хотя бинокль и считается ручным прибором, для получения качественного изображения необходимо принимать специальные меры, устраняющие дрожание изображения. Для 7- и 8-кратных биноклей достаточно найти опору для локтей или кистей рук. Для биноклей с большим увеличением необходимы штативы.

БЛАЗАРЫ — очень компактные квазары, по видимому, связанные со сверхмассивными чёрными дырами в центрах гигантских эллиптических галактик. Слово «blazar» происходит от англ. *blazing* (ярко горящий, пылающий) и *quasar*. Термин предложил в 1978 г.

американский астрофизик Эдвард Шпигель (Edward A. Spiegel), желая подчеркнуть, что у блазаров наблюдается комбинация свойств лацертид (объектов типа BL Lac) и быстро переменных в оптике квазаров (optically violent variable quasars, OVV-quasars). OVV-квазары связаны с мощными радиогалактиками, тогда как лацертиды демонстрируют слабое радиоизлучение.

Считается, что один из двух релятивистских джетов блазара направлен почти точно в сторону Земли, поэтому мы заглядываем в самый центр активной области, откуда вырываются джеты (быстрые и тонкие струи плазмы). Именно поэтому источник излучения выглядит компактным и наблюдается его быстрая переменность. У многих блазаров в джетах видны детали, видимое перемещение которых в пределах нескольких центральных парсеков происходит со сверхсветовой скоростью. Считается, что это движение релятивистских ударных волн, направленных почти точно на наблюдателя. Знаменитый ближайший квазар 3C 273 относится к семейству блазаров.

БЛЕСК — традиционный астрономический термин для обозначения потока оптического излучения, приходящего от звезды или другого небесного светила в единицу времени на единицу поверхности Земли. Примерно до 1940-х гг. интенсивность видимого света звёзд и метеоров астрономы называли «яркостью». До сих пор в астрономии употребляются такие выражения, как «яркая звезда», «яркий метеор». Но физики определяют яркость как количество света, приходящее от источника излучения в единицу телесного угла (например, с квадратной минуты дуги). Эту величину астрономы раньше называли поверхностной яркостью в отличие от интегральной яркости, обозначавшей количество света, приходящее от всего светила. Теперь и в астрономии термином «яркость» называют то, что ранее называли поверхностной яркостью, а для интегральной яркости потребовалось новое название. Так был введен термин «блеск». Таким образом, блеск — это освещённость, создаваемая светилами на плоскости, перпендикулярной к лучу зрения. Точечные источники света (звёзды) имеют блеск, но не имеют яр-

кости. Метеор имеет длину, но не имеет видимой ширины, поэтому термин «яркость» к нему также неприменим и следует употреблять термин «блеск».

В астрономии блеск измеряется видимыми звёздными величинами (m), а в физике аналогичная величина — освещённость (J) — измеряется люксами. Связь между ними следующая:

$$m = -14,00 - 2,5 \lg J.$$

Звезда с $m_v = 0$ создаёт на границе земной атмосферы освещённость $2,54 \cdot 10^{-6}$ лк. Полная Луна ($m_v = -12,74$ вне атмосферы), наблюдаемая в зените, создаёт у поверхности Земли освещённость около 0,25 лк.

БЛИЗНЕЦЫ — зодиакальное созвездие с фигурой, оправдывающей его название. Яркие звезды Кастор («кучер», α Gem) и Поллукс («кулачный боец», β Gem), отстоящие друг от друга на $4,5^\circ$, представляют головы человеческих фигур, ноги которых стоят на Млечном Пути, примыкая к Ориону. Греки называли эти звёзды именами сыновей Зевса Кастора и Полидевка; второй в латинизированной форме стал Поллуксом. Обозначая звёзды в каждом созвездии греческими буквами в порядке убывания блеска, немецкий астроном И. Байер (1572–1625) указал Кастор как α Близнецов, хотя сейчас он светит слабее Поллукса: или Поллукс с тех пор стал ярче, или блеск Кастора ослаб. А может быть, Байер ошибся. Для невооружённого глаза Кастор выглядит как одна звезда, но это — крохотное скопление из шести звёзд, удалённое от Солнца на 45 св. лет. Эти 6 звёзд сгруппированы в три пары, которые можно различить в небольшой телескоп или сильный бинокль. Два ярких бело-голубых компонента с видимыми величинами $2,0^m$ и $2,7^m$ составляют визуальную двойную с угловым разделением $6''$, обращающуюся вокруг общего центра масс с периодом около 400 лет. Каждый из них — двойная система с орбитальными периодами 9,2 и 2,9 сут. Третий компонент удалён от них на $73''$, состоит из двух красных карликов и является затменной двойной, меняющей блеск от $8,6^m$ до $9,1^m$ с периодом 0,8 сут.

Созвездие Близнецы известно как «урожайное»: в его пределах в 1781 г. Вильям Гер-

шель открыл планету Уран, а в 1930 г. Клайд Томбо нашёл Плутон. Из интересных для наблюдения объектов в нём находятся звёздное скопление М35 и планетарная туманность Эскимос (или Клоун, NGC 2392), состоящая из звезды 10-й величины, окружённой яркой оболочкой. У двойной звезды U Gem компоненты расположены так близко друг к другу, что вещество с одного перетекает на поверхность другого — белого карлика. В накопившемся на его поверхности веществе с промежутком в несколько месяцев начинаются термоядерные реакции, приводящие к взрыву: на 1–2 дня блеск звезды возрастает в 100 раз, с 14^m до 9^m . Поэтому звезду U Gem называют карликовой новой.

БОЗОН — частица с нулевым или целочисленным спином; подчиняется статистике Бозе—Эйнштейна. Как правило, бозоны являются частицами — переносчиками взаимодействий. Примеры: фотон (спин 1), глюон (спин 1), К-мезон (спин 0), гравитон (спин 2).

БОКОВОЕ ЗРЕНИЕ (англ. *averted vision*) — метод визуального наблюдения тусклых небесных объектов, предельно низкая яркость которых делает их почти недоступными невооружённому глазу. Заметить их удаётся, слегка (на несколько градусов) отведя взгляд от точного направления на объект. В этом случае его изображение попадает не в центральную ямку сетчатки глаза, где располагаются малочувствительные к свету колбочки, а на боковую область, богатую светочувствительными палочками. При этом изображение получается бесцветным и размытым, но заметным.

БОЛИД — очень яркий метеор осязательного углового размера, нередко наблюдаемый даже днём, часто сопровождаемый дымным следом, грохотом или гулом; иногда заканчивается падением метеоритов. Слово «болид» (франц. *bolide*) произошло от названия древнегреческого метательного копья (*bolis*, *bolidos*). Но у греков употреблялся и термин «сферапирос» — огненный шар.

БОЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — звёздная величина звезды или иного небесного объекта, основанная на его полном излучении во всём диапазоне длин волн. Понятие применимо как к наблюдае-

мой (видимой), так и к абсолютной звёздной величине. В первом случае она указывает полный поток излучения, приходящего к наблюдателю, а во втором — полную мощность излучения изотропного космического источника. Обычно болометрическая звёздная величина вычисляется по наблюдаемой (видимой) звёздной величине в спектральной полосе V с использованием болометрической поправки.

БОЛОМЕТРИЧЕСКАЯ ПОПРАВКА (англ. *bolometric correction*) — разность между болометрической и визуальной звёздными величинами ($BC = m_{\text{bol}} - m_v$). Иногда указывается с обратным знаком, поэтому следует проявлять внимание к определению этой величины в каждом конкретном случае. Иногда применяется и при измерениях в других спектральных полосах, например U и B. Если фотометрическая полоса явно не указана, имеют в виду полосу V. Болометрическая поправка позволяет найти болометрическую звёздную величину, которая непосредственно из наблюдений обычно не определяется, так как часть излучения в УФ- и ИК-областях спектра поглощается атмосферой или не воспринимается приёмником.

Болометрическая поправка для разных классов звёзд

Спектр. класс	Главная последовательность	Гиганты	Сверхгиганты
O3	−4,3	−4,2	−4,0
B0	−3,00	−2,90	−2,50
A0	−0,25	−0,25	−0,25
F0	0,02	0,02	0,13
G0	−0,10	−0,13	−0,1
G5	−0,14	−0,34	−0,20
K0	−0,24	−0,42	−0,38
K5	−0,66	−1,19	−1,00
M0	−1,21	−1,28	−1,3
M5	−2,6	−3,1	−3,3

БОЛЬШАЯ МЕДВЕДИЦА — крупное северное созвездие. Широко известен греческий миф о том, как прекрасную нимфу Каллисто Зевс превратил в медведицу, чтобы спасти её от мести своей супруги Геры. Погибшую вскоре от стрелы Артемиды медведицу-Каллисто Зевс вознёс на небо в виде созвездия. Но это крупное созвездие гораздо старше греческого мифа: вероятно, оно

было первым выделено на небе древними людьми. Семь его ярких звёзд (все они 2^m – 3^m) образуют астеризм Ковш, который был известен с древности и у разных народов именовался «Лось», «Повозка», «Тесло», «Плуг», «Семь Мудрецов» и др. У всех звёзд Ковша есть свои имена: Дубхе (α) по-арабски значит «медведь»; Мерак (β) — «поясница»; Фекда (γ) — «бедро»; Мегрец (δ) — «основание хвоста»; Алиот (ϵ) — смысл не ясен; Мицар (ζ) — «кушак» или «набедренная повязка». Последнюю звезду в ручке Ковша называют Бенетнаш или Алькаид (η); по-арабски «ал-каид банат наш» значит «предводитель плакальщицы»; в данном случае астеризм уже мыслится не медведем, а похоронной процессией: впереди — плакальщицы, возглавляемые предводителем, а за ними следуют погребальные носилки. Прямая линия, проведённая через крайние звезды Ковша (α и β), указывает на Полярную звезду, поэтому звезды Мерак и Дубхе называют «указателями».

Обозначая звёзды в каждом созвездии греческими буквами в порядке убывания их блеска, И. Байер не стал придерживаться этой системы для звёзд Ковша: там порядок букв просто соответствует порядку звёзд. Поэтому самая яркая звезда в Ковше не α , а ϵ , которая, впрочем, всего лишь на $0,02^m$ ярче, чем α . Рядом с Мицаром зоркий глаз видит звезду 4^m Алькор (80 UMa), что по-арабски значит «забытая» или «не-

значительная». Любопытно, что 5 внутренних звёзд Ковша (кроме крайних α и η) действительно образуют в пространстве единую группу, довольно быстро перемещающуюся по небу, поэтому рисунок Ковша на небе за 100 000 лет заметно меняется.

БОЛЬШАЯ МИЛЛИМЕТРОВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА В АТАКАМЕ (Atacama large millimeter/sub-millimeter array, ALMA) — система из 66 радиотелескопов с параболическими антеннами диаметром 12 и 7 м, работающих в режиме интерферометра с оптоволоконной связью. Максимальная база 14 км. Система предназначена для наблюдений в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах (0,3–9,6 мм). Угловое разрешение — 10 миллисекунд дуги ($0,01''$), что в 5 раз лучше, чем у космического телескопа «Хаббл». Доплеровское разрешение по скорости 50 м/с. Чувствительность в 20 раз выше, чем у системы VLA. Сооружена на плато Эль-Лано де Чахнантор в пустыне Атакама (Чили) на высоте 5060 м при равном участии Национальной радиоастрономической обсерватории США и ESO.

БОЛЬШОЙ БИНОКУЛЯРНЫЙ ТЕЛЕСКОП (Large Binocular Telescope, LBT) — два телескопа системы Грегори, укрепленные на одной монтировке и предназначенные для оперативного наблюдения в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра. LBT создан совместными усилиями астрономов Италии, США и Германии. Установлен на го-



Радиоинтерферометр миллиметрового диапазона ALMA. Фото с сайта <https://www.almaobservatory.org>

ре Маунт-Грэхем (Аризона, США) на высоте 3200 м. Сплошные главные зеркала обоих телескопов LBT имеют диаметры 8,4 м и сотовую структуру тыльной поверхности. По суммарной площади двух зеркал LBT равен 12-метровому рефлектору, поэтому на 2020 г. он крупнейший в мире. Расстояние между осями зеркал 14,4 м, что позволяет выполнять наблюдения в режиме интерферометра с угловым разрешением как у 23-метрового телескопа.

БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ (англ. Big Bang) — первый эпизод в эволюции Вселенной, имевший место около 14 млрд лет назад и положивший начало её расширению. Согласно космологической теории горячей Вселенной, развитой Г. Гамовым и др., обнаруженное Э. Хабблом взаимное удаление галактик и их скоплений отражает исходное состояние материи в первый момент существования Вселенной. Вещество тогда было очень плотным, горячим и быстро расширялось. В течение первых нескольких минут в нём происходили термоядерные реакции синтеза, в основном сформировавшие нынешний химический состав Вселенной, за исключением небольшой доли тяжёлых элементов, возникших позже в процессе звёздного нуклеосинтеза. Через несколько минут после начала Большого взрыва температура и плотность вещества снизились и термоядерные реакции в нём прекратились. Позже из остывшего вещества сформировались звёзды, галактики и их скопления, а исходное расширение сохранилось до сих пор в виде наблюдаемого «разбегания» галактик.

Термин «Большой взрыв» в шутку предложил противник этой теории, английский астрофизик Фред Хойл (1915–2001), выступая на радио BBC 28 марта 1949 г. Но сейчас её основные положения надёжно подтверждены наблюдениями и считаются общепризнанными. Однако перед теорией Большого взрыва стоит несколько проблем, в основном связанных с самыми первыми мгновениями существования Вселенной. Теория должна объяснить, почему Вселенная состоит из вещества и почти не содержит антивещества, почему в больших масштабах пространства Вселенная чрезвычайно однородна, а её средняя плотность очень близка

к критической, разделяющей сценарии вечного и конечного существования Вселенной. Ответы на эти вопросы кроются в первых мгновениях Большого взрыва, последовательно описать которые современная физика не может. Требуется более общая теория, объясняющая поведение вещества, полей и пространства-времени при очень высоких энергиях. Первые шаги к ней уже сделаны в виде теории инфляции, теории струн и др.

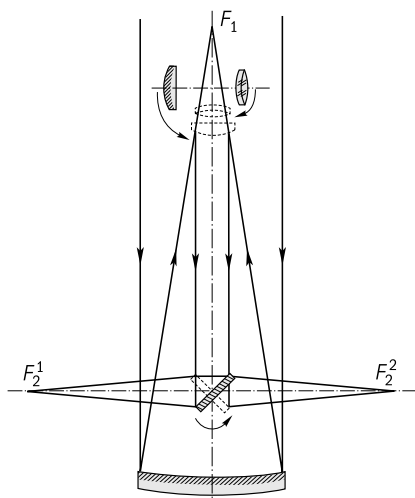
БОЛЬШОЙ ПЁС — зимнее экваториальное созвездие, лежит к юго-востоку от созвездия Орион. В нём находится ярчайшая звезда неба Сириус ($-1,4^m$). Эта бело-голубая звезда, как и само созвездие, уже 5000 лет назад ассоциировалась с собакой; её древнейшее шумерское название — «Собака Солнца». В Египте Сириус звали «предвосхищающей звездой», звездой богини Изиды; его утренний восход предвещал разлив Нила. Арабское имя Сириуса означало «ярчайшая звезда того, кто пересёк (Млечный Путь)» и связано с легендой, где фигурировала также звезда Процион (α Малого Пса). Греки называли Сириус просто «собакой», а римляне — «собачкой», лат. *canicula*, отсюда название летнего периода отдыха «каникулы». Слово «Сириус», вероятно, произошло от греческого *seirios* — «ярко горящий». Истинная светимость Сириуса лишь в 23 раза выше солнечной, но это одна из ближайших к нам звёзд: расстояние до него — 8,6 св. года.

С Сириусом связано предсказание и обнаружение белых карликов. Много лет измеряя с высокой точностью положение ярких звёзд, немецкий астроном Фридрих Бессель (1784–1846) в 1836 заметил, что Сириус и Процион (α Малого Пса) в своём движении относительно более далёких звёзд отклоняются от прямой линии, и предположил, что они демонстрируют колебательное движение, поскольку у них есть невидимые спутники. В 1844 г. Бессель, узнав, что безнадежно болен, опубликовал свой прогноз, указав, что спутник Сириуса должен обращаться с периодом около 50 лет. В те годы мысль о существовании невидимых звёзд была столь необычна, что даже высочайший авторитет Бесселя не спас его от жёсткой критики коллег. Вспомним, что

лишь в 1845–1846 г. Дж. Адамс и У. Лаверье на основе отклонений в движении планеты Уран сделали предсказание о существовании в Солнечной системе невидимой до той поры планеты. К счастью, эта планета — Нептун — была сразу обнаружена именно там, где её ожидали найти учёные. Но теоретическое открытие Бесселя не получало подтверждения почти 20 лет.

Первым был открыт компаньон Сириуса; его заметил американский оптик Алван Кларк (1804–1887) в 1862 г. при испытании нового телескопа. Спутник получил имя «Сириус В» и прозвище «Щенок». Его светимость в 10 000 раз слабее, чем у главной звезды — Сириуса А, радиус в 100 раз меньше солнечного, но масса почти такая же, как у Солнца, поэтому Сириус В имеет колоссальную плотность: около 1 т в 1 см³. В 1896 г. обнаружился и спутник Прокциона. Так были открыты белые карлики — звёзды, закончившие свою эволюцию и сжавшиеся до размера небольшой планеты. Спутник Сириуса А и обращается вокруг него именно с тем периодом, который указал Бессель.

БОЛЬШОЙ ТЕЛЕСКОП АЛЬТ-АЗИМУТАЛЬНЫЙ (БТА) — крупнейший в Евразии телескоп с главным зеркалом диаметром 6 м. Служит основным инструментом Специальной астрофизической обсерватории (САО) Российской академии наук. Телескоп БТА был крупнейшим в мире с 1975 г., когда он превзошёл 5-метровый телескоп «Хейл» Паломарской обсерватории, вплоть до 1993 г., когда вступил в строй 10-метровый телескоп «Кек-1» (о. Гавайи). Главное зеркало БТА диаметром 605 см имеет форму параболоида вращения с фокусным расстоянием 24 м. Его вес без учета оправы 42 т. Оптическая схема позволяет работать в главном фокусе и двух фокусах Несмита. В обоих случаях можно применять корректор аберраций. Телескоп установлен на альт-азимутальной монтировке, масса подвижной части около 650 т, общая масса — около 850 т. Расположен на горе Семиродники у подножия горы Пастухова (2733 м) близ поселка Нижний Архыз Зеленчукского района Карачаево-Черкесской Республики, РФ, на высоте 2070 м над уровнем моря.



Телескоп БТА и его оптическая схема

Главный конструктор телескопа — Баграт Константинович Иоаннисиани. Новаторским было решение установить телескоп на альт-азимутальной монтировке (а не на обычной в то время экваториальной). Механические конструкции телескопа были изготовлены Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО), главное зеркало — Лыткаринским заводом оптического стекла. Заготовка зеркала весила 70 т, что потребовало разработки методики плавки и отливки стекла и его охлаждения.

Всего было изготовлено три заготовки. Первую предполагалось охлаждать девять месяцев, однако такая большая скорость изменения температуры привела к расколу диска. Вторая охлаждалась медленнее — $0,03^{\circ}\text{C}$ в час. Для полного охлаждения потребовалось 2 года и 19 дней, для обработки зеркала — 16,5 месяца и 15 000 карат алмазного инструмента, после чего болванка стала легче почти на 30 т. После тонкой полировки масса готового зеркала составила 42 т.

БРАНА — любой протяжённый объект в теории струн. 1-брану называют струной, 2-брану — мембраной; у 3-браны имеются три протяжённых измерения. В общем случае p -брана имеет p пространственных измерений.

БУРЫЕ КАРЛИКИ — то же, что *Коричневые карлики*.

БЮРАКАНСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ находится в Армении, на южном склоне горы Арагац, вблизи села Бюракан (высота 1500 м), в 35 км от Еревана. Основана в 1946 г. известным астрофизиком акад. В. А. Амбарцумяном. Крупнейший телескоп — рефлектор диаметром 2,6 м.

В

ВЕГА — α Лир, звезда 0,0 визуальной звёздной величины. Удалена от Солнца на 25 св. лет, имеет светимость в 50 раз выше солнечной. Через 12 тыс. лет в результате прецессии земной оси Вега станет полярной звездой. Вместе с яркими звёздами Денеб (в Лебеде) и Альтаир (в Орле) Вега образует известный астеризм — Летний треугольник.

ВЕКОВОЕ УСКОРЕНИЕ ЛУНЫ — опережение Луной своего предвычисленного положения на небе для земного наблюдателя, использующего солнечное или звёздное время. Это явление связано с приливным взаимодействием Луны и Земли, вызывающим изменение лунной орбиты и тормозящим вращение Земли. Мысль о том, что морские приливы, обегая Землю в направлении, противоположном её вращению, и встречая препятствия в виде материков и мелководья, могут тормозить вращение Земли, высказал ещё в 1754 г. И. Кант. Проверить это

можно было бы, измеряя, как меняется со временем продолжительность суток. Но для этого были необходимы очень точные часы, которых в XVIII в. не было. Правда, ещё в 1695 г. Э. Галлей, проанализировав древние и современные ему солнечные затмения, заподозрил, что угловая скорость движения Луны увеличивается по отношению к скорости вращения Земли. Дальнейшие наблюдения подтвердили это, а расчёты показали, что в действительности не Луна ускоряет свой бег, а Земля замедляет вращение.

Фактически вековое приливное ускорение Луны вызвано тем, что угловая скорость вращения Земли выше угловой скорости орбитального движения Луны, поэтому приливные выступы на Земле «сносятся» вперед относительно линии Земля—Луна. Притяжение самой Луны к ближайшему приливному выступу Земли сильнее, чем к дальнему выступу, поэтому на Луну постоянно действует сила, увлекающая её вперёд по орбите. По этой же причине под действием притяжения Луны тормозится вращение Земли.

Поскольку приливные горбы на поверхности Земли увлекают Луну вперед по орбите, её механическая энергия возрастает. При этом радиус её орбиты увеличивается, а угловая скорость орбитального движения уменьшается. Однако влияние самой Луны на приливные горбы Земли тоже тормозит вращение нашей планеты, причём угловая скорость вращения Земли при этом уменьшается быстрее, чем угловая скорость движения Луны. Поэтому при измерении скорости Луны относительно некоторых точек на поверхности Земли кажется, что Луна ускоряет своё движение. Вот почему астрономы все же говорят о **в е к о в о м у с к о р е н и и** Луны под действием приливного трения.

Достаточно точные часы были созданы лишь в XX в., и с их помощью действительно было обнаружено систематическое удлинение земных суток на величину крайне малую: всего на 0,0015 секунды за 100 лет. Однако только за последние 2000 лет Земля «отстала» от идеальных часов на 3 часа. Это вполне можно заметить по отличию географической долготы мест на Земле, где проис-

ходили исторические солнечные затмения, от расчётов, сделанных в предположении постоянства скорости вращения Земли, что и удалось Э. Галлеу три века назад.

ВЕЛИКИЙ АТТРАКТОР (от англ. *attract* притягивать) — предполагаемая гигантская концентрация массы, влияющая на движение многих галактик, включая и нашу. В 1986 г. обнаружилось, что ближайшие галактики и наша звёздная система движутся в сторону сверхскопления Гидры — Кентавра со скоростями, значительно отличающимися от тех, которые следуют из расширения Вселенной по закону Хаббла. Одним из возможных объяснений такого отклонения от однородного хаббловского расширения может быть наличие «Великого аттрактора» — области или объекта, оказывающего гравитационное влияние на окружающие звёздные системы. Его масса оценивается в десятки тысяч масс Галактики. Диаметр этой области около 300 млн св. лет, а центр удалён от нас на 150 млн св. лет.

ВЕЛИКОЕ ПРОТИВОСТОЯНИЕ МАРСА (англ. *perihelic opposition*) — такое противостояние, когда расстояние от Земли до Марса составляет менее 60 млн км (см. *Противостояния*). Поскольку орбитальные периоды Земли и Марса несоизмеримы, при каждом противостоянии эти планеты встречаются в разных местах своих орбит, сближаясь на разное расстояние (в основном из-за эксцентricности орбиты Марса). Если противостояние случается в период нашей зимы, с января по март, то расстояние до Марса довольно велико, около 100 млн км. Но если планеты сближаются в конце нашего лета, когда Марс проходит перигелий своей орбиты, то его расстояние от Земли сокращается до 56–60 млн км. Такие благоприятные для астрономических наблюдений противостояния называют великими, они случаются через каждые 15 или 17 лет. Противостояние тем благоприятнее, чем ближе оно приходится к 28 августа, так как в этот день Земля проходит ближе всего к перигелию орбиты Марса.

Великое противостояние Марса 28 августа 2003 г. оказалось на редкость тесным: Земля сблизилась с Марсом до расстояния 55 758 005 км. В период подготовки к это-

Великие противостояния Марса

Год	День	Расстояние	
		а. е.	млн км
1830	19 сентября	0,3885	58,12
1845	18 августа	0,3730	55,80
1860	17 июля	0,3927	58,75
1877	5 сентября	0,3771	56,41
1892	4 августа	0,3777	56,50
1909	24 сентября	0,3919	58,63
1924	23 августа	0,3729	55,79
1939	23 июля	0,3893	58,24
1956	10 сентября	0,3789	56,68
1971	10 августа	0,3759	56,23
1988	22 сентября	0,3931	58,81
2003	28 августа	0,3729	55,79
2018	27 июля	0,3862	57,77
2035	15 сентября	0,3813	57,04

Величайшие противостояния Марса (сближения с Землёй менее чем на 56 млн км). Момент наибольшего сближения может предшествовать дате на 1–2 сут.

Год	День	Минимальное расстояние	
		млн км	а. е.
1561	7 августа	55,838	0,373253
1640	21 августа	55,87	0,37347
1687	8 августа	56,00	0,37434
1719	27 августа	55,951	0,37401
1766	13 августа	55,839	0,373260
1845	18 августа	55,803	0,373021
1924	23 августа	55,777	0,372846
2003	28 августа	55,758	0,372719
2050	14 августа	55,96	0,37405
2082	1 сентября	55,884	0,37356
2129	19 августа	55,841	0,373276
2208	24 августа	55,769	0,372794
2287	29 августа	55,688	0,372254
2366	2 сентября	55,709	0,372389
2445	5 сентября	55,795	0,372963
2492	24 августа	55,833	0,373217
2571	30 августа	55,708	0,372382

му событию появился термин «величайшие противостояния Марса».

ВЕНЕРА — планета Солнечной системы, вторая от Солнца, удалённая от него на 108,2 млн км (0,723 а. е.). Синодический период обращения 583,92 сут. Наибольшая элонгация 48°. Сидерический период обращения (т. е. орбитальный период) составляет 224,7007 сут. Период осевого вращения

(обратного по отношению к орбитальному) 243,02 сут. Поэтому солнечные сутки на Венере длятся 116,75 земных суток. Таким образом, в течение венерианского года успевает пройти всего около двух венерианских солнечных суток, т. е. за один оборот вокруг Солнца на Венере происходят два восхода и два захода Солнца. Впрочем, наклон экватора Венеры к плоскости её орбиты мал ($i = 2,7^\circ$), а эксцентриситет орбиты незначителен ($e = 0,007$), так что сезонные вариации температуры почти отсутствуют.

Синодический период Венеры — период её нижних соединений с Солнцем, равный периоду её максимального сближения с Землёй. Как видим, он с высокой точностью равен пяти солнечным суткам на Венере ($583,92/116,75 = 5,0015$), а это означает, что в каждом нижнем соединении Венера обращена к Земле одной и той же стороной. Причина этого, как и причина медленного обратного вращения Венеры, пока не ясна.

На земном небе Венера обычно видна как утренняя или вечерняя «звезда»; это самое яркое светило ночного неба после Луны; видимая звёздная величина Венеры временами достигает $-4,9^m$. Видимый угловой диаметр меняется от $10''$ до $66''$.

Венера не имеет естественных спутников. Её масса $4,869 \cdot 10^{24}$ кг (82% от массы Земли); радиус твёрдой поверхности 6052 км (95% радиуса Земли); средняя плотность $5,24$ г/см³. Планета обладает чрезвычайно плотной атмосферой. У поверхности планеты в ней преобладают углекислый газ CO₂ (96,5%) и азот N₂ (3,5%) с незначительной примесью водяного пара H₂O, окиси углерода CO, двуокиси серы SO₂, паров соляной кислоты HCl, паров фтористоводородной кислоты HF. Содержание H₂O в глубоких слоях атмосферы составляет около 0,002%, что очень мало по сравнению с количеством воды на Земле. Температура атмосферы у поверхности ночью и днём около 460 °C, давление около 93 бар, а плотность составляет около $1/15$ плотности воды.

Наличие мощной атмосферы установлено в 1761 г. М. В. Ломоносовым. На высотах 50–70 км Венеру окутывает трёхъярусный плотный слой облаков с температурой около 230 К, в которых имеются капель-

ки серной кислоты. Облака образуют мощный сплошной слой, полностью скрывающий каменистую и гористую поверхность планеты. На Венере высокая геологическая активность, имеется множество вулканических базальтов и специфичных тектонических образований: венцы, куполообразные холмы, паутинные сети лавовых потоков и тектонических трещин, а также около 1000 ударных кратеров. Предполагают, что по внутреннему строению Венера похожа на Землю. Однако собственное магнитное поле у Венеры практически отсутствует.

ВЕРОЯТНОСТЬ ПЕРЕХОДА — вероятность того, что данный переход произойдёт. Имеется три различных вероятности для данного перехода: вероятность поглощения, вероятность спонтанного излучения и вероятность вынужденного излучения (переход, индуцируемый другим фотоном с той же длиной волны). Значение вероятности перехода составляет от 10^8 с⁻¹ до 10^3 с⁻¹ для обычных переходов и 10^{-15} с⁻¹ и менее для запрещённых линий.

ВЕСЫ — зодиакальное созвездие, описанное в «Альмагесте» Птолемея как «клешни Скорпиона». Вначале это созвездие представляли как алтарь, затем его стали изображать как алтарь или лампу, зажатую в гигантских клешнях скорпиона, а позже клешни «отпустили» его. Лишь незадолго до начала христианской эры римляне дали ему нынешнее имя. До сих пор звёзды α и β Весов называют Южной и Северной Клешнями. Затменная переменная звезда δ Lib меняет блеск от $4,8^m$ до $6,0^m$ с периодом 2,3 сут.

ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ ГАЛАКТИКИ — две или несколько близко расположенных галактик, заметно искажающих форму друг друга своим гравитационным влиянием. Взаимодействие нарушает симметричную форму галактик и приводит к появлению структурных элементов, не характерных для одиночных галактик: «антенн», «хвостов», перемычек (см. рис. на с. 46). Часто оно вызывает усиленное звёздообразование и активность в ядре галактики.

ВИДИМАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — безразмерная величина, характеризующая освещённость, создаваемую небесным объектом вблизи наблюдателя. Она определяется



Взаимодействующие галактики NGC 4676 (VV 224) «Мышки». Фото: космического телескопа «Хаббл».

как логарифмическая мера потока излучения и говорит о том, во сколько раз поток от одного светила больше или меньше, чем от другого, принятого за эталон. Такими эталонами обычно служат специально подобранные непременные звёзды.

Фактически видимая звёздная величина выражает воспринимаемый наблюдателем блеск (яркость) небесного объекта. В повседневной астрономической практике обычно говорят просто «звёздная величина». Полностью термин используют, лишь если может возникнуть путаница с «абсолютной звёздной величиной», выражающей истинную мощность излучения небесного объекта. Определение «видимая» означает «непосредственно воспринимаемая, измеряемая», а вовсе не «визуальная».

Видимую звёздную величину источника можно оценить как при наблюдении невооружённым глазом, так и глядя в телескоп или на экран компьютера, получающего сигнал с ПЗС-приёмника, установленного на телескопе. Но для точного измерения и последующего указания звёздной величины источника необходимо определиться со спектральным диапазоном. При грубых оценках видимую звёздную величину можно указывать как визуальную или фотографическую. Но при более точных измерениях следует приводить её к стандартным спектральным диапазонам: U, B, V и т. д. В шкале звёздных величин разность на 5 единиц соответствует 100-кратному различию в потоках света от измеряемого и эталонного источников, т. е. разность на 1 звёздную величину соответствует отношению потоков света в $100^{1/5} \approx 2,512$ раза.

Обозначают звёздную величину курсивной латинской буквой «*m*» (от лат. *magnitudo* величина) в виде верхнего индекса справа от числа. Направление шкалы звёздных величин обратное, т. е. чем больше значение, тем слабее блеск объекта. Например, звезда 2-й звёздной величины (2^m) в 2,512 раза ярче звезды 3-й величины (3^m) и в $2,512 \times 2,512 = 6,310$ раза ярче звезды 4-й величины (4^m).

ВИДИМЫЙ ДИАПАЗОН — область электромагнитного спектра между инфракрасным и ультрафиолетовым диапазонами, в пределах которой чувствителен глаз человека. Видимый диапазон длин волн составляет 350–700 нм, соответствующие им частоты — от $4,3 \cdot 10^{14}$ Гц до $8,6 \cdot 10^{14}$ Гц. Энергия фотонов излучения в видимом диапазоне равна 1,8–3,5 эВ. Видимый диапазон является частью оптического диапазона.

ВИЗУАЛЬНАЯ ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА — две звезды, наблюдаемые на близком угловом расстоянии друг от друга: как правило, от нескольких угловых секунд до долей секунды. Обычно это физические двойные систе-



Визуальная двойная Альбиро (β Лебедя). Блеск компонентов $3,1^m$ и $5,4^m$, угловое расстояние между ними около $35''$. Это физическая двойная звезда с очень большим орбитальным периодом.

мы, в которых компоненты разделены большим линейным расстоянием: от десятков до тысяч астрономических единиц.

ВИЗУАЛЬНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — видимая звёздная величина объекта, оценённая при наблюдении глазом. Визуальная звёздная величина близка к звёздной величине в спектральной полосе V (см. *Фотометрическая система*).

ВИРТУАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ — элементарные частицы, которые на мгновение извергаются из вакуума в виде пары частица — античастица. В соответствии с соотношением неопределённостей они существуют за счёт «заимствованной» из вакуума энергии и быстро аннигилируют, возвращая тем самым «энергетический долг».

ВИСОКОСНЫЙ ГОД — календарный год, состоящий из 366 суток. В отличие от простого года, содержит дату 29 февраля. В юлианском (в пределах новой эры) и григорианском календарях високосным считается год, число лет которого делится на 4. Однако в григорианском календаре не считаются високосными годы, число столетий в которых не делится на 4; к примеру, 1900 год был простым, а 2000 год — високосным. Название «високосный» связано с тем, что в Древнем Риме в качестве добавочного 366-го дня года дублировался 6-й день мартовских календ (за 6 дней до 1 марта), называвшийся *bi-sextus*, т. е. второй шестой.

ВНЕАТМОСФЕРНАЯ АСТРОНОМИЯ — астрономические наблюдения с помощью приборов, поднятых для устранения атмосферных помех за пределы плотных слоёв земной атмосферы — в стратосферу или космическое пространство. Такие наблюдения проводятся с борта высотных самолётов, аэростатов, геофизических ракет, спутников Земли, пилотируемых орбитальных станций и межпланетных зондов.

Прямое изучение объектов Солнечной системы и межпланетного пространства в круг задач внеатмосферной астрономии не входит. Если возможности приборов, которые в принципе могли бы работать с поверхности Земли, улучшаются лишь за счёт их приближения к объекту наблюдения (например, фотосъёмка и радиолокация поверхности планет с борта космических зон-

дов), то такие исследования относят к космонавтике и называют космическими исследованиями.

По сравнению с наземной внеатмосферная астрономия обладает как неоспоримыми преимуществами, так и недостатками. Главные преимущества связаны с отсутствием перед объективом телескопа толстого слоя воздуха, эквивалентного по количеству вещества слою воды в 10 м. Внеатмосферные телескопы могут регистрировать излучение в диапазонах спектра, для которых земная атмосфера непрозрачна. Благодаря успехам внеатмосферной астрономии в середине XX в. астрономия стала всеволновой. В радиодиапазоне разрешение возрастает благодаря увеличению базы интерферометров; в этом смысле радиоастрономия становится не столько внеатмосферной, сколько «внеземной». Уже проводятся наблюдения с базой, почти равной расстоянию до Луны («Радиоастрон», 2011–2019), а в перспективе — увеличение базы радиоинтерферометров до 1 а. е. и даже более, что даже в сантиметровом диапазоне даст разрешение до 10^{-8} угловой секунды.

В будущем внеатмосферной, а точнее внеземной, должна стать и гравитационно-волновая астрономия. Чувствительность лазерных детекторов гравитационных волн на свободных массах прямо зависит от расстояния между массами (если оно не превышает длины волны). К тому же для работы таких приборов требуются вакуум и отсутствие механических шумов, т. е. вибрации, вызванной сейсмическими и промышленными процессами. Всё это ограничивает возможности наземных детекторов, но практически не ограничивает их возможности в космосе. Проект космического гравитационно-волнового детектора LISA (Laser Interferometer Space Antenna) развивается усилиями NASA и ESA.

ВНЕГАЛАКТИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ — раздел астрономии, в рамках которого изучаются космические объекты — галактики, квазары и др., — находящиеся за пределами нашей звёздной системы — галактики Млечный Путь.

ВНЕЗЕМНЫЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ — сообщества разумных существ, обитающие за преде-

лами Земли и не связанные с космической экспансией земной цивилизации. Достоверных данных о существовании внеземных цивилизаций пока нет.

Интерес учёных к этой проблеме появился в конце 1950-х гг., когда были созданы радиосистемы для дальней космической связи, необходимые для управления межпланетными аппаратами, а также мощные радары для контроля космического пространства. Расчёты показали, что возможностей имеющихся к тому времени передатчиков и приёмников достаточно для поддержания радиоконтакта на межзвёздных расстояниях. Первые попытки вступить в контакт с внеземным разумом предприняли в 1960 г. американский радиоастроном Фрэнк Дрейк и его коллеги по «Проекту ОЗМА». Они направили радиотелескоп диаметром 26 м на τ Ceti и ϵ Eri, ожидая, что у этих близких к нам и очень похожих на Солнце звёзд могут быть планеты, подобные Земле, населённые технически развитыми существами. Если бы эти существа имели такую же аппаратуру, как у Дрейка, то с ними можно было бы поддерживать радиосвязь. Однако никаких сообщений из космоса принять тогда и позже не удалось.

ВОДОЛЕЙ — зодиакальное созвездие, расположенное между Козерогом и Рыбами. У древних шумеров Водолей был одним из священных созвездий, поскольку олицетворял бога неба Ана, дающего земле живительную воду. Согласно грекам, Водолей изображает сразу несколько мифических персонажей: Ганимеда — троянского юношу, ставшего виночерпием на Олимпе; Девкалиона — героя всемирного потопа, и Кекропа — древнего царя Афин. Римляне Арат и Птолемеи называли его «водолеем» и представляли как юношу, льющего воду из кувшина в рот Южной Рыбе. Известный астеризм в Водолее — Кувшин, маленькая Y-образная группа из четырёх звёзд, лежащая точно на небесном экваторе. Центральная из этих звёзд, ζ Aqr — очаровательная двойная.

ВОЗНИЧИЙ — северное созвездие; звёздный пятиугольник, лежащий к северу от Блинецов. Это созвездие было выделено более 2500 лет назад. Возничим, имя которого носит созвездие, считается бог моря

Посейдон. Значит, это одно из созвездий, связанных с эпосом об Андромеде. Ярчайшую звезду в нём (α Aur) шумеры, а вслед за ними греки и арабы называли «звездой козы», а римляне называли «маленькой козочкой», Капеллой. Для наблюдателей Северного полушария, живущих выше широты 44° , она является незаходящей околополярной звездой, т. е. видна каждую ясную ночь. Это спектрально-двойная звезда с периодом 104 суток, её светимость в 150 раз выше солнечной. На фоне Млечного Пути вблизи Капеллы плоским треугольником выделяются три звезды — η , ζ и ϵ Возничего; их также называют «козочками». Ближе всех к Капелле расположена звезда ϵ Aur — наиболее загадочная из них. Каждые 27,08 лет её видимый блеск ослабевает за шесть месяцев с $3,0^m$ до $3,9^m$; в таком состоянии она находится примерно год, а затем в течение шести месяцев восстанавливает блеск до исходного. Пока не ясно, что затмевает эту звезду.

ВОЗРАСТ НЕБЕСНОГО ТЕЛА — время, прошедшее с момента формирования этого тела. Возраст Земли и метеоритов, а отсюда косвенно и других тел Солнечной системы наиболее надёжно оценивается методами ядерной космохронологии, например по количеству изотопов свинца ^{206}Pb и ^{207}Pb , образовавшихся в исследуемых породах в результате радиоактивного распада изотопов урана ^{238}U и ^{235}U . С момента прекращения контакта исследуемого образца породы с возможными источниками ^{238}U и ^{235}U (например, после выделения породы из расплава в случае её вулканического происхождения или механической изоляции в случае метеоритов, которые могут быть осколками более крупных тел) образование изотопов ^{206}Pb и ^{207}Pb идёт за счёт имеющихся в образце изотопов урана. Поскольку скорость радиоактивного распада постоянна, количество накопившихся изотопов свинца характеризует время с момента изоляции образца до момента исследования.

Практически возраст породы определяется по отношению содержания изотопов ^{206}Pb и ^{207}Pb к содержанию природного изотопа ^{204}Pb , не порождённого радиоактивностью. Этот метод даёт для возраста древней-

ших пород земной коры оценку до 4,5 млрд лет. Анализ содержания изотопов свинца в железных метеоритах обычно даёт оценки до 4,6 млрд лет. Возраст каменных метеоритов, определяемый по радиоактивному превращению в них изотопа калия ^{40}K в изотопа аргона ^{40}Ar , колеблется от 0,5 до 5 млрд лет. Это указывает на то, что часть метеоритов возникла сравнительно недавно.

Анализ лунных пород показал, что количество содержащихся в них инертных газов — продуктов радиоактивного распада — отвечает возрасту пород от 2 до 4,5 млрд лет.

Возраст отдельных звёзд и Солнца оценивают на основе теории строения и эволюции звёзд.

Длительность стадии формирования звезды (первоначального сжатия от прото-звезды до звезды главной последовательности) составляет

$$t_c \approx 30 M/L \text{ (млн лет)} \quad (1)$$

Масса M и светимость L звезды выражаются в единицах массы и светимости Солнца — $M_\odot$ и $L_\odot$. Звёзды малых масс на этой стадии могут иметь весьма большой абсолютный возраст. Так, древнейшие карликовые звёзды массой менее $0,1 M_\odot$ (переменные типа UV Кита, $L \approx 5 \cdot 10^{-5} L_\odot$) ещё не завершили этой стадии. Формула (1) оценивает их максимальный возраст.

Длительность стадии горения водорода (пребывания звезды на главной последовательности) — самая продолжительная стадия в жизни звезды, когда источником её энергии служат термоядерные реакции водородного цикла:

$$t_H \approx 10 M/L \text{ (млрд лет)} \quad (2)$$

Длительность стадии горения гелия (стадии красных гигантов) t_{He} составляет примерно $0,1 t_H$. Суммой $t_c + t_H + t_{\text{He}}$ оценивается максимальный возраст красного гиганта и сверхгиганта. Последующие стадии эволюции, связанные с «выгоранием» в звёздах углерода и кремния, скоротечны и характерны для массивных звёзд-сверхгигантов; они заканчивают свою эволюцию взрывом. При этом могут образоваться нейтронные звёзды и чёрные дыры. Звёзды с массами $M \leq 1,2 M_\odot$ в процессе эволюции становятся, по-видимому, белыми карликами.

Таким образом, возможно установить пределы возраста звезды данной массы, находящейся в той или иной стадии эволюции, но находится ли она в начале этой стадии или уже почти прошла её, выяснить значительно сложнее.

Возраст звёздных скоплений и ассоциаций, в которых звёзды возникли почти одновременно, оценивается намного надёжнее, чем возраст отдельных звёзд. Наиболее массивные звёзды рассеянных скоплений быстро продвигаются в своей эволюции, уходят с главной последовательности и становятся красными гигантами или (наиболее массивные) сверхгигантами. На диаграмме Герцшпрунга—Рассела такого скопления легко отличить звёзды, которые заканчивают пребывание на главной последовательности и готовятся уйти с неё. Формула (2) даёт оценку возраста этих звёзд и, следовательно, всего скопления. У самых молодых рассеянных скоплений возраст оценивается в 1 млн лет, самых старых — в 4,5–8 млрд лет (при различных предположениях о количестве водорода, превратившегося в гелий).

Возраст Галактики, определяемый по синтезу элементов, составляет от 9 до 11 млрд лет. Возраст доступной для наблюдений части Вселенной (Метагалактики) оценивается по закону расширения Метагалактики. Согласно закону Хаббла, галактики удаляются друг от друга со скоростью около 70 км/с на 1 Мпк. Если эта скорость мало изменилась с начала расширения, то величина, обратная ей, даёт оценку возраста Метагалактики: $1/70 \text{ км}^{-1} \text{ с Мпк} \approx 14 \text{ млрд лет}$.

ВОЛК — южное созвездие, лежит к югу от Весов. Эту мифическую фигуру шумеры называли «чудовище смерти», а греки просто «зверь». Созвездие большей частью лежит в Млечном Пути, поэтому содержит много ярких звёзд. На широте Москвы это созвездие никогда полностью не восходит над горизонтом, поэтому практически оно недоступно для наблюдения. Одной из первых отождествленных исторических вспышек сверхновых была Сверхновая Волка 1006 г.

ВОЛНЫ ПЛОТНОСТИ — звуковые или какие-либо иные материальные волны, при прохождении через вещество вызывающие

его периодическое сжатие и расширение. Так называемую теорию волн плотности впервые разработал шведский астроном Бертиль Линдблад (Bertil Lindblad, 1895–1965) около 1925 г. для объяснения спиральных рукавов галактик. Согласно этой теории, спиральные рукава — это области с избыточной плотностью (т. е. волны плотности), которые обращаются вокруг центра галактик обычно медленнее, чем звёзды и газ галактического диска. Когда газовые облака с большой скоростью «ударяются» о волну плотности, газ сжимается, и в нём начинается формирование звёзд. Некоторые из новорождённых звёзд — самые горячие и яркие — нагревают и освещают окружающий газ, поэтому рукава выглядят наиболее светлыми областями диска.

В более поздних работах американского астрофизика Лина с коллегами была сделана попытка объяснить крупномасштабную структуру спиралей малоамплитудными волнами, распространяющимися с постоянной угловой скоростью. При прохождении волны сжатия начинается формирование звёзд на краю спирального рукава. Считается, что волна плотности обязана своим появлением резонансу в гравитационном взаимодействии звёзд, движущихся по своим орбитам в диске галактики. В гораздо меньших масштабах, спиральные волны плотности могут играть важную роль в ранней эволюции планетных систем.

ВОЛОПАС — крупное и красивое экваториальное созвездие. Древние считали Волопас одним из важнейших созвездий; шумеры называли его созвездием преданного небесного пастуха, а греки — погонщиком волов и стражем медведя. В Северном полушарии его можно наблюдать всё лето. Его ярчайшая звезда Арктур («страж медведя») и несколько звёзд побледнее образуют фигуру в виде вытянутого ромба, наподобие воздушного змея. Арктур легко найти, продолжив «хвост» Большой Медведицы на 30° к югу. Это ярчайшая звезда к северу от небесного экватора, имеющая визуальную звёздную величину $-0,06^m$, расстояние 37 св. лет и светимость в 110 раз выше солнечной. Она относится к довольно редкому типу звёзд — красным гигантам, сильно постаревшим

звёздам, в молодости похожим на Солнце. На солидный возраст Арктура указывает и его движение: он быстро перемещается относительно Солнца, следовательно, принадлежит к сферическому гало Галактики. В то время как Солнце и многие другие звезды движутся по почти круговым орбитам, лежащим в плоскости Галактики, Арктур обращается вокруг галактического центра по сильно наклонённой орбите, пересекая в нашу эпоху галактическую плоскость.

Интересна звезда τ Воо, весьма близкая (52 св. года) и похожая на Солнце. В 1990-е гг. рядом с ней была обнаружена планета — одна из первых планет вне Солнечной системы. Она почти в 4 раза массивнее Юпитера и обращается вокруг звезды в 8,4 раза ближе, чем Меркурий вокруг Солнца, практически «живёт» в короне своей звезды. Её орбитальный оборот длится всего 3,3 земных суток!

ВОЛОСЫ ВЕРОНИКИ — небольшое и весьма тусклое экваториальное созвездие, расположено оно между Гончими Псами и Девой. Эратосфен называл его «волосами Ариадны», а Птолемей вообще относил эти звёзды к созвездию Лев. Но рождение созвездия имеет точную датировку: оно названо в честь Вереники — жены египетского фараона Птолемея III Эвергета (3 в. до н. э.), которая, согласно преданию, отрезала свои прекрасные волосы и поместила их в храме Венеры в благодарность богине за военную победу, дарованную её мужу богами. А когда волосы из храма пропали, жрец-астроном Конон заявил Веренике, что Зевс взял их на небо.

Лишь в 1602 г. созвездие было «официально» включено в каталог Тихо Браге. В безлунную ночь вдали от городских огней в этом созвездии можно заметить невооружённым глазом рассеянное скопление Волосы Вероники, около 42 звёзд которого, удалённые от нас на 250 св. лет, составляют тонкий кружевной узор. Это скопление знал и поместил в свой каталог Птолемей. Небольшой телескоп позволит увидеть в этом созвездии близкие шаровые звёздные скопления M53 и NGC 5053, а также галактику Подбитый Глаз (M64) с огромным тёмным пылевым облаком вокруг ядра. Любопытно, что в границах этого скромного созвез-

дия лежит северный галактический полюс, а значит, глядя в этом направлении, перпендикулярно полупрозрачному диску нашей Галактики, мы имеем шанс увидеть самые далёкие уголки Вселенной. Весьма удачно, что у южной границы созвездия начинается крупное скопление галактик Coma–Virgo, не очень далёкое от нашей Местной группы галактик (42 млн св. лет) и потому имеющее большой угловой диаметр (около 16°). Это скопление содержит более 3000 галактик. Обычно это скопление называют Virgo, поскольку центральная его часть лежит в соседнем созвездии Девы, а также потому, что в Волосах Вероники наблюдается и другое, гораздо более далёкое (400 млн св. лет) и богатое скопление галактик, за которым закрепилось название Coma.

ВОРОН — маленькое экваториальное созвездие в виде неправильного четырёхугольника к югу от Девы. Древние шумеры называли его «Великий Буревестник», а вавилоняне отождествляли с птицей-богом Анзуд, похитившей таблицы судеб у верховного божества Энлиля. Звезда Альгораб (δ Crv) — красивая двойная звезда, легко различимая в бинокль. Среди далёких объектов интересна пара сталкивающихся галактик NGC 4038 и 4039, известная как «Антенны»: в противоположные стороны от их ядер расходятся два длинных загнутых «хвоста», образовавшихся под действием гравитационного приливного эффекта.

ВОСХОД — астрономическое явление, состоящее в пересечении светилом математического горизонта, когда оно переходит из невидимой части небесной сферы в видимую, т. е. появляется из-за линии горизонта. Моменты восхода и захода Солнца и Луны публикуют в астрономических ежегодниках, имея в виду математический горизонт и учитывая эффект атмосферной рефракции у горизонта, увеличивающей видимую высоту светила на $35'$ (иногда составители ежегодника принимают $34'$). При этом указывают момент восхода (или захода) верхнего края диска Солнца (или Луны), отстоящего от центра светила в среднем на $16'$.

ВРАЩЕНИЕ ЗЕМЛИ (суточное) — вращение Земли вокруг своей оси с запада на восток, т. е. против часовой стрелки, если смо-

треть с Северного полюса мира. Вращение Земли вызывает смену дня и ночи, определяет длительность суток. Происходит неравномерно: под влиянием главным образом лунных и солнечных приливов (приливного трения) длительность суток непрерывно возрастает на 1–2 мс в столетие, а из-за сезонных изменений (выпадения осадков и т. п.), тектонических процессов и других в течение года колеблется в пределах 1–2 мс. Положение оси вращения Земли, а следовательно, и земных географических полюсов, меняется из-за прецессии и нутации.

ВРАЩЕНИЕ ЗВЁЗД — круговое движение вещества звёзд вокруг их осей, проходящих через центр массы. Скорости вращения измеряются по эффекту Доплера и для обычных звёзд составляют на экваторе от нескольких км/с до нескольких сотен км/с.

Вращение Солнца открыл Г. Галилей в 1610–1611 гг. по движению солнечных пятен. Вращение других звёзд было обнаружено в 1909 г. при исследовании спектров затменных двойных звёзд. Скорость вращения звёзд изменяется в ходе их эволюции и на стадии главной последовательности сильно зависит от спектрального класса звезды, следовательно, от её массы. Типичная скорость вращения на экваторе у звёзд типов O–B–A–F составляет 100–200 км/с, а у звёзд типов G–K–M — 1–4 км/с. Резкое уменьшение типичной скорости наблюдается между подклассами F0 и G0.

Вращение звёзд влияет на ход их эволюции и на наблюдаемые параметры. Под действием центробежных сил, возникающих при вращении, изменяется форма звезды (появляется небольшая сплюснутость), при этом температура поверхности звезды у полюсов оказывается немного выше, чем у экватора. Поэтому видимая звёздная величина звезды в определённой мере зависит от наклона её оси вращения к лучу зрения. Кроме того, центробежные силы частично уравнивают силы тяготения, и в центральной области звезды, где происходит генерация энергии за счёт термоядерных реакций, уменьшаются давление и температура, а следовательно, и скорость выделения энергии. Отсюда вытекает, что вращающиеся звёзды должны обладать меньшей

полной светимостью и эффективной температурой и медленнее эволюционировать. На стадиях эволюции, сопровождающихся значительным сжатием звезды, вращение звёзд может быть существенным фактором: например, если скорость вращения звёзд превысит первую космическую скорость, то силы притяжения не смогут удержать вещество, и оно должно оттекать от звезды, сама же звезда в этом случае тормозится.

Сравнение скоростей вращения звёзд одного спектрального класса, но разных возрастов показывает, что чем старше звезда, тем медленнее она вращается. Согласно наблюдениям, скорость вращения звёзд сложным образом изменяется в ходе их эволюции. Так, звёзды спектрального класса G перед выходом на главную последовательность имеют скорости вращения до 100 км/с. На ранних стадиях эволюции вдоль главной последовательности их вращение замедляется. Особый интерес представляет эволюция вращения формирующихся звёзд (протозвёзд), так как, по-видимому, именно вращение определяет, во что превратится звезда — в одиночную, двойную или звезду с планетной системой. Остатки эволюции звёзд — их ядра — при сильном сжатии ускоряют своё вращение. Особенно ярко это проявляется у нейтронных звёзд: скорости их вращения могут превышать 100 000 км/с. Радиопульсары (обычно это одиночные нейтронные звёзды) замедляют своё вращение, используя его энергию для излучения, а рентгеновские пульсары в двойных системах, наоборот, ускоряют вращение за счёт аккреции внешнего вещества.

ВРАЩЕНИЕ СОЛНЦА — движение фотосферы Солнца вокруг оси, проходящей через центр солнечного шара. Солнце принадлежит к медленно вращающимся звездам: средняя скорость его вращения около 2 км/с. Вращение происходит в том же направлении, что и вращение Земли (с запада на восток), ось вращения образует угол $82^{\circ} 45'$ с плоскостью орбиты Земли (эклиптикой). Один оборот относительно Земли совершается за 27,275 суток (синодический период вращения), относительно неподвижных звёзд — за 25,38 суток (сидерический период обращения).

ВРЕМЕНА ГОДА (весна, лето, осень, зима) — деление года на периоды в соответствии с видимым движением Солнца по небесной сфере (по эклиптике) и сезонными изменениями в природе. Смена времён года обусловлена движением Земли по орбите вокруг Солнца и наклоном её оси вращения к плоскости орбиты (под углом $66^{\circ} 33'$). Наклон оси и постоянство её направления в пространстве приводят к тому, что приблизительно полгода Солнце сильнее освещает Северное полушарие, вторые полгода — Южное; средняя температура каждого из полушарий периодически меняется, что и обуславливает смену времён года. Астрономическое начало времён года в Северном полушарии совпадает с моментами прохождения Солнца через точку весеннего равноденствия (20 или 21 марта, начало астрономической весны), точку летнего солнцестояния (21 и 22 июня, начало лета), точку осеннего равноденствия (23 сентября, начало осени) и точку зимнего солнцестояния (21 и 22 декабря, начало зимы). Длительность астрономических времён года: весны 92,8 суток, лета 93,6, осени 89,8, зимы 89,0. Но формальное деление года на сезоны далеко не всегда соответствует реальной длительности времён года в разных климатических зонах.

ВРЕМЯ (методы измерения). Для измерения времени необходимы эталонная единица времени и устройства, позволяющие с известной степенью точности воспроизводить эту единицу и осуществлять счёт единиц времени. Для получения эталонной единицы времени использовались следующие периодические процессы: вращение Земли вокруг своей оси; обращение Земли вокруг Солнца; излучение (поглощение) электромагнитных волн атомами или молекулами некоторых веществ при определённых внешних условиях.

Поскольку жизнедеятельность людей теснейшим образом связана со сменой дня и ночи, т. е. с вращением Земли вокруг своей оси, этот процесс и использовался для измерения времени на протяжении многих тысячелетий. Промежуток времени, в течение которого Земля делает один оборот вокруг оси относительно какого-нибудь ориентира на небе, называют сутками. Продол-

жительность суток различна в зависимости от того, какой ориентир используется в качестве точки отсчёта. Для этих целей служат: точка весеннего равноденствия; центр видимого диска Солнца; среднее Солнце — фиктивная точка, равномерно движущаяся по экватору со средней за год скоростью движения истинного Солнца по эклиптике. Определяемые таким образом три разных промежутка времени называют соответственно звёздными, истинными и средними солнечными сутками. Поскольку вращение Земли вокруг оси проявляется в видимом суточном движении небесной сферы, в астрономии сутки определяются как промежутки времени между двумя последовательными одноимёнными кульминациями (прохождениями через меридиан данного места) соответствующей точки на небе.

Эталоном времени, которым впервые научилось пользоваться человечество, стали истинные солнечные сутки. Для измерения их долей использовали солнечные часы, простейшим вариантом которых служит вертикальный шест и нанесённые на земле деления. Тень от шеста, отражая движение Солнца по небу, перемещается от деления к делению, показывая время.

Первые механические колёсные часы, снабжённые спусковым устройством, появились в Европе в XIII в. Они имели только часовую стрелку, в движение приводились гирей, а регулятором хода был воздушный тормоз — крыльчатка. Идея часов с маятником в качестве регулятора хода была предложена и реализована голландским физиком Х. Гюйгенсом в 1656 г. Во второй половине XVI в. у механических часов появилась минутная стрелка, а в 1760 г. — секундная.

Создание астрономических маятниковых часов привело к тому, что истинные солнечные сутки более не могли использоваться для контроля за ходом часов. Дело в том, что истинные солнечные сутки неодинаковы в течение года в силу двух причин: 1) истинное Солнце, в соответствии с обращением Земли по эллиптической орбите, движется по эклиптике неравномерно; 2) наклон эклиптики к экватору приводит к тому, что проекции одинаковых отрезков эклиптики на экватор не равны между

собой, следовательно, часовой угол Солнца (отсчитываемый по экватору) изменяется неравномерно. Поэтому для измерения времени стали использовать средние солнечные сутки, а поскольку среднее Солнце представляет собой фиктивную точку, его положение на небе вычислялось теоретически, на основании многолетних наблюдений истинного Солнца. Местное среднее солнечное время на меридиане Гринвича (Великобритания) было названо Всемирным временем и обозначено UT (от англ. Universal Time). Разность между средним и истинным солнечным временем называют уравнением времени. Четыре раза в году уравнение времени бывает равно нулю, а его максимальное и минимальное значения равны примерно ± 15 мин.

Недостаток солнечного времени — трудность его определения из астрономических наблюдений. Солнце имеет большой видимый диск, что затрудняет отсчёт положения его центра. Оно сильно нагревает телескоп, вызывая его деформацию и уменьшая точность наблюдений. Поэтому астрономические наблюдения в специальных службах времени производят ночью по звёздам.

Местное звёздное время на данном меридиане (т. е. время, прошедшее от момента верхней кульминации точки весеннего равноденствия) определяется по наблюдениям звёзд: оно равно прямому восхождению каждой звезды в момент её верхней кульминации (в момент, когда звезда пересекает меридиан южнее северного полюса мира). Таким образом, наблюдаются звёзды, а не сама условная точка весеннего равноденствия. Службы времени регистрируют моменты прохождения ряда звёзд через меридиан и по ним находят поправки своих часов. Использовать звёздное время непосредственно в повседневной жизни неудобно, так как вследствие годового движения Земли по орбите звёздные сутки короче среднесолнечных примерно на 3 мин 56 с. Звёздное время и среднесолнечное время быстро расходятся. Часы служб времени обычно идут по среднесолнечному времени, при вычислении их поправок выполняют пересчёт от звёздного времени к среднему солнечному.

Таким образом, из астрономических наблюдений определяется местное время для данного меридиана. По местному звёздному времени вычисляется местное среднее солнечное время, а по нему, с учётом долготы места наблюдений от Гринвича, — Всемирное время, получаемое на данной обсерватории. Это время обозначают как UT0.

Движение полюсов Земли смещает земные меридианы, на которых ведутся наблюдения, и приводит к тому, что шкала UT0, получаемая в различных точках Земли, оказывается неодинаковой. Для получения более однородной шкалы времени, называемой UT1, в наблюдения отдельных служб времени вводятся поправки $\Delta\lambda$, за движение полюса, так что $UT1 = UT0 + \Delta\lambda$. Однако и шкалу UT1 нельзя считать достаточно точной, её искажают все виды неравномерности вращения Земли вокруг своей оси.

Неравномерности вращения Земли подразделяют на три вида.

1. *Вековое замедление вращения Земли*, изменяющее продолжительность суток примерно на 0,002 с за столетие. Эта величина настолько мала, что обычно не принимается во внимание.

2. *Сезонная (обусловленная в основном сезонной циркуляцией атмосферы) неравномерность вращения Земли*, изменяющая продолжительность суток от их среднего за год значения на величину немного меньшую $\pm 0,001$ с. Учёт сезонной неравномерности даёт новую шкалу времени $UT2 = UT1 + \Delta T_{\text{сезон}}$.

3. *Нерегулярные изменения скорости* (являющиеся результатом действия различных факторов, в частности, по-видимому, нестационарных процессов внутри Земли), из-за которых продолжительность суток изменяется на величину $\sim 10^{-3}$ с на интервале от нескольких лет до нескольких месяцев. Эти изменения не могут быть спрогнозированы заранее и почти целиком входят в UT2. Учёт флуктуации в скорости вращения Земли проводят путём сравнения теоретически вычисленных (эфемеридных) координат небесных тел с их координатами, полученными из наблюдений. Найденные поправки ΔT_e позволяют ввести шкалу эфемеридного времени $TE = UT2 + \Delta T_e$, которая является наибо-

лее равномерной астрономической шкалой времени, получаемой из наблюдений. Время, отсчитываемое по ней, называют эфемеридным. Его не следует путать с равномерным эфемеридным временем — математическим понятием, употребляемым в формулах небесной механики. Точность определения эфемеридного времени по отдельным наблюдениям из-за случайных ошибок меньше, чем точность определения UT2, поэтому поправку ΔT_e вычисляют как среднюю по большому ряду наблюдений (обычно за год или за полгода). Таким образом, точные значения TE могут быть получены лишь задним числом. Экстраполяция TE вперёд не может быть эффективной.

Если до открытия неравномерности вращения Земли основная единица времени — секунда — определялась как $1/86400$ средних солнечных суток, то с введением эфемеридного времени в качестве его единицы была принята эфемеридная секунда. В 1956 г. Международное бюро мер и весов дало следующее определение секунды: «Секунда есть $1/31556925,9747$ тропического года для 1900 г. январь 0, в 12 часов эфемеридного времени» (см. *Юлианский период*).

Изобретение атомных стандартов частоты позволило получить новую шкалу времени, независимую от вращения Земли и имеющую значительно большую точность. В качестве единицы атомного времени принята атомная секунда, определяемая как «время, равное 9192631770 периодам излучения, соответствующее переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133». Это определение принято в 1967 г. на XIII Генеральной конференции по мерам и весам. Атомная секунда служит одной из семи основных единиц Международной системы единиц (СИ). На практике Международная шкала атомного времени (TAI) реализуется путём усреднения показаний нескольких десятков атомных (цезиевых) часов служб времени различных стран. Показания всех часов анализируются и усредняются в Международном бюро времени в Париже.

Относительная погрешность современных промышленных атомных часов колеблется от $1 \cdot 10^{-14}$ до $1 \cdot 10^{-15}$, что позволя-

ет отдельным службам времени сохранять шкалу TAI с погрешностью $\sim 0,1$ мкс за год. А в некоторых специальных конструкциях атомных часов относительная погрешность составляет всего 10^{-17} .

Несколько отличная от TAI шкала используется при подаче сигналов точного времени. Эта шкала получила название Всемирного координированного времени (UTC). В основу UTC положена атомная секунда, а его отличие от TAI — в том, что, когда разность между UT1 и UTC достигает 0,9 с, часы, с которых передаются сигналы времени в системе UTC, переводятся вперёд или назад на 1 с в зависимости от знака разности UT1 – UTC. Таким образом, отклонение системы UTC от астрономической шкалы времени не может превышать 0,9 с. Коррекции часов производятся в последнюю секунду суток, обычно 31 декабря или 30 июня по рекомендации Международного бюро времени. Шкала UTC, удовлетворяющая этим условиям, была введена с 1 января 1972 г.

Шкала UTC — некоторый компромисс между атомным и астрономическим временем: она обладает высокой точностью и отражает вращение Земли. Для тех, кому знание астрономического времени необходимо оперативно и с точностью большей, чем ~ 1 с, в сигналы точного времени, передаваемые в Международной системе UTC, специальным кодом вносится информация о разности UT1 – UTC. Эту разность с точностью до 0,1 с можно получить, подсчитывая специально раздвоенные секундные сигналы времени. В системе сигналов России разность UT1 – UTC даётся с точностью до 0,02 с. С ещё большей точностью, до 0,0001 с, приводятся разности астрономической и атомных шкал времени в бюллетенях Международного бюро времени. В них содержится также информация о вращении Земли, о подачах сигналов и эталонных частот, о точности хранения и передачи времени.

Особую группу составляют системы счёта времени, устанавливаемые на территориях отдельных государств или группы государств на основании правительственных декретов или международных соглашений. К этим системам относятся поясное, декретное и летнее время.

С 1884 г. во многих странах введено поясное время. Вся поверхность Земли разделена на 24 часовых пояса с границами по меридианам, отстоящим друг от друга на долготе на 15° . Во всех пунктах пояса часы показывают одинаковое время — местное время среднего меридиана пояса. При переходе в соседний пояс стрелки переводятся на час вперёд или назад в зависимости от направления. Такая система устраняет неудобства местного времени, которое различно для всех точек земной поверхности, не лежащих на одном меридиане. В нашей стране поясное время было введено с 1 июля 1919 г.

В целях экономии электроэнергии в летние месяцы в некоторых странах весной стрелки часов переводятся на час вперёд. Это время получило название летнего времени. Осенью часы снова ставят по поясному времени. Летнее время неоднократно вводилось в СССР. Но с 16 июня 1930 г. декретом Советского правительства стрелки всех часов в стране были переведены вперёд и так оставлены. Это время, на час больше поясного, называют декретным.

ВРЕМЯ, ВСЕМИРНОЕ — система счёта времени, основанная на периоде вращения Земли, равном в точности 24 часам. Всемирное время (UT, Universal Time) равно среднему солнечному времени на Гринвичском меридиане. Всемирное время заменило собой в 1928 г. гринвичское среднее время (GMT, Greenwich Mean Time) во избежание путаницы с началом отсчёта суток: в GMT они начинались по астрономической традиции в полдень, а в UT сутки начинаются по гражданской традиции в полночь. В настоящее время используется три уровня всемирного времени: UT0, базирующееся непосредственно на наблюдениях; UT1, в которое включены поправки за перемещение полюсов Земли, и UT2, которое включает также поправки за изменение скорости вращения Земли. Фактически под именем UT используют Координированное всемирное время (UTC), которое опирается на ход атомных часов, но при этом согласуется (координируется) с вращением Земли.

ВРЕМЯ, ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКОЕ — время события, зафиксированное гипотетическим наблюдателем, находящимся в центре

Солнца. Гелиоцентрическое время в основном используется для обеспечения согласованной временной шкалы при наблюдениях переменных звёзд и других переменных объектов путём исключения влияния изменяющегося положения Земли на окосолнечной орбите.

ВРЕМЯ, ГРАЖДАНСКОЕ — устаревшее понятие, использовавшееся в ту эпоху, когда астрономы отсчитывали время от полудня, а простые граждане — от полуночи. В основе гражданского времени лежали средние солнечные сутки с началом в местную среднюю полночь. От астрономического среднего солнечного времени гражданское время отличалось началом счёта суток: в первом за начало суток принимался местный средний полдень. Гражданское время было равно среднему солнечному времени плюс 12 ч. Например, 20 ч 15 мин среднего солнечного времени 22 октября соответствовало 8 ч 15 мин гражданского времени 23 октября. Современные астрономы также отсчитывают время суток от полуночи.

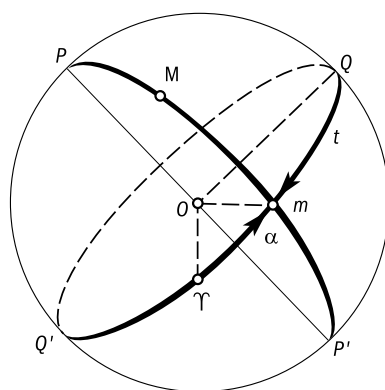
О прошлом напоминает традиция, сохранившаяся в англоязычных и многих европейских странах, указывать время «до полудня» (например, 3:15 AM) и «после полудня» (например, 8:45 PM). Эти аббревиатуры, которые до середины XX в. писали как A. M. и P. M., происходят от латинских выражений «ante meridiem» и «post meridiem», что значит «до полудня» и «после полудня». Имеется в виду полуденное пересечение Солнцем местного небесного меридиана. В англоязычных странах в быту аббревиатуру AM часто интерпретируют как «after midnight», т. е. после полуночи.

ВРЕМЯ, ДЕКРЕТНОЕ — основное, официально установленное время в данной местности. Например, в России в 2020 г. официальное время и зимой, и летом на 1 час опережает поясное время. В некоторых странах для более полного использования дневного света в летние месяцы вводится «летнее время», на 1 час опережающее «зимнее». Это делалось также в СССР и России, но с 2014 г. не практикуется. Однако введённый в 1930 г. «декретный час» сохраняется, поэтому территории, живущие по «московскому времени», видят на своих часах время UTC + 3 часа,

хотя большинство из них находится во 2-м часовом поясе (часовой зоне).

ВРЕМЯ, ДИНАМИЧЕСКОЕ (TDB, TDT) — физические шкалы времени, введённые в 1984 г. для замены эфемеридного времени как независимый аргумент в динамических теориях движения небесных тел, используемых для расчёта эфемерид. Динамическое время реализуется, например, с помощью атомных часов (см. *Время, международное атомное*). Динамическое время, как и эфемеридное, представлено равномерной временной шкалой, учитывающей, однако, взаимосвязь пространства и времени в общей теории относительности. TDB — это барицентрическое динамическое время, т. е. время в центре масс Солнечной системы. TDT — это время, которое показывали бы часы в центре Земли. Время в обеих шкалах отличается друг от друга и от эфемеридного времени всего на несколько миллисекунд. Единицей TDT служит 86 400 секунд СИ на уровне моря. Для практических целей можно считать, что $TDT = TAI + 32,184^s$.

ВРЕМЯ, ЗВЁЗДНОЕ — часовой угол точки весеннего равноденствия; равен нулю в момент её верхней кульминации. Полный оборот точки весеннего равноденствия, как и любой другой точки небесной сферы (так называемые звёздные сутки, или «24 часа звёздного времени»), происходит за 23 час 56 мин 04 с среднего солнечного времени (см. *Сутки, звёздные*). Для светила с пря-



Звёздное время: $S = \alpha + t$. Здесь M — звезда, m — её проекция на небесный экватор, α — прямое восхождение, t — часовой угол, — точка весеннего равноденствия, PQR' — небесный меридиан, PmP' — круг склонения (часовой круг).

мым восхождением α справедлива формула $s = t + \alpha$, где s — звёздное время, t — часовой угол светила. Таким образом, звёздное время можно измерить по моменту кульминации светила с известным прямым восхождением.

ВРЕМЯ, ИСТИННОЕ СОЛНЕЧНОЕ — часовой угол Солнца; измеряется к западу от небесного меридиана; 15 градусов (15°) соответствуют 1 часу. Момент пересечения Солнцем меридиана называют истинным полднем. Истинное солнечное время показывают простые солнечные часы.

ВРЕМЯ, КООРДИНИРОВАННОЕ ВСЕМИРНОЕ (UTC, Coordinated Universal Time) — время, передаваемое средствами массовой коммуникации — радио, телевидением и др. UTC отличается от TAI (см. *Время, международное атомное*) на целое число секунд и поддерживается в пределах $\pm 0,90$ секунды от UT путём введения, когда это требуется, добавочной секунды (leap second) между 60^s и 0^s . Обычно это делается не чаще двух раз в год — в конце июня или декабря. Координированное всемирное время объединяет преимущества равномерной шкалы атомного времени с удобством синхронизации всемирного времени с астрономическими циклами (солнечные сутки, год).

ВРЕМЯ, ЛЕТНЕЕ И ЗИМНЕЕ. В целях экономии электроэнергии в летние месяцы в некоторых странах весной стрелки часов переводятся на час вперёд. Это время получило название летнего времени (*англ. Daylight saving time, DST или Summer time*). Осенью часы снова ставят по поясному времени. Это называют переходом на зимнее время (фактически на стандартное местное время).

До 1930 г. летнее время неоднократно вводилось в РСФСР/СССР. Но с 16 июня 1930 г. декретом правительства стрелки всех часов в стране были переведены вперёд и так оставлены. Это время, на час больше поясного, получило название декретного. С 1981 г. в СССР, а затем в России неоднократно вводилось и отменялось летнее время (поверх декретного). Последний раз переходы на летнее время отменили в 2014 г.

Летнее время применяется в странах Западной Европы, в Турции, Иране и некоторых странах Африки и Южной Америки.

В США, Канаде, Мексике и Австралии оно также применяется, но не во всех штатах и провинциях.

ВРЕМЯ, МЕЖДУНАРОДНОЕ АТОМНОЕ (TAI) — непрерывная шкала времени, выводимая в Международном бюро мер и весов в Париже из анализа атомных стандартов времени многих стран. Основной единицей служит секунда СИ, а эпохой — 1 января 1958 г.

ВРЕМЯ, МЕСТНОЕ — время, измеренное на данном географическом меридиане, т. е. в пунктах с одинаковой долготой. Для всех мест на одном и том же меридиане часовой угол точки весеннего равноденствия в какой-либо момент один и тот же. Поэтому на всем географическом меридиане местное звёздное время в один и тот же момент одинаково. То же можно сказать и о положении Солнца (местное истинное солнечное время) или среднего солнца (местное среднее солнечное время). Если разность географических долгот двух мест есть $\Delta\lambda$, то в более восточном месте часовой угол любого светила будет на $\Delta\lambda$ больше, чем часовой угол того же светила в более западном месте. Поэтому разность любых местных времён на двух меридианах в один и тот же физический момент всегда равна разности долгот этих меридианов, выраженной в часовой мере, т. е. в единицах времени, в которых $360^\circ = 24$ часа: $t_1 - t_2 = \Delta\lambda$.

Непосредственно из астрономических наблюдений получается местное время того меридиана, на котором эти наблюдения произведены. Местное среднее солнечное время нулевого (Гринвичского) меридиана называют всемирным или мировым временем. Местное среднее время любого пункта на Земле всегда равно всемирному времени в этот момент плюс долгота данного пункта, выраженная в часовой мере и считаемая положительной к востоку от Гринвича.

В астрономических календарях моменты большинства явлений указывают по всемирному времени. Моменты этих явлений по местному времени легко определить по указанной выше формуле. Но следует помнить, что «местное время» (в астрономическом смысле) не совпадает с декретным временем, которое показывают обычные

часы. Это нередко приводит к ошибкам, поскольку в быту «местным временем» часто называют декретное время данной местности (зимой — зимнее, а летом — летнее), т. е. то время, которое показывают часы местных официальных учреждений.

ВРЕМЯ, ПОЯСНОЕ — время, установленное по международному соглашению в областях и странах для того, чтобы по всей планете отличие местного времени от всемирного (UTC) составляло целое число часов. Вся поверхность Земли разделена приблизительно вдоль меридианов на 24 часовых пояса. Средние меридианы часовых поясов проходят по долготам 15° , 30° , 45° ... к западу от Гринвича вдоль точек земной поверхности, где среднее солнечное время соответственно на 1, 2, 3... часа отстаёт от гринвичского (т. е. всемирного, UTC). Обычно города и прилегающие к ним области живут по времени ближайшего среднего меридиана. Линии, разделяющие зоны с различным официальным временем, называются границами часовых поясов. Обычно они не следуют строго вдоль меридианов, а совпадают с административными границами. К тому же официальное время не всегда отличается от гринвичского на целое число часов: порой в различии присутствуют и полчаса.

В летние месяцы в некоторых странах для более полного использования светлого

Часовые зоны в США относительно всемирного времени (UTC)

Зимнее время		Летнее время	
EST, Eastern standard time	UTC – 5	EDT, Eastern daylight time	UTC – 4
CST, Central standard time	UTC – 6	CDT, Central daylight time	UTC – 5
MST, Mountain standard time	UTC – 7	MDT, Mountain daylight time	UTC – 6
PST, Pacific standard time	UTC – 8	PDT, Pacific daylight time	UTC – 7

го времени суток вводится летнее время, опережающее на 1 час поясное время. Кроме этого, в некоторых странах (в СССР, позже — в России) в соответствии со специальным правительственным указом (декретом) стрелки часов постоянно переведены на час вперёд относительно поясного времени; это время называют декретным временем.

Московское время формируется следующим образом. Центр Москвы лежит на восточной долготе $37^\circ 42'$, т. е. $12'$ восточнее формальной западной границы 3-го часового пояса. Однако вместе со всей западной территорией России Москва и прилегающие к ней районы отнесены ко 2-му часовому поясу. Для этого административная граница между 2-м и 3-м поясами на территории России сдвинута от параллели Москвы до Мурома. Кроме этого, в России постоянно действует декретное время, добавляющее к



Часовые зоны России с отличием местного времени от московского (UTC+3)

поясному 1 час. Следовательно, московское время опережает всемирное (гринвичское) время на 3 часа.

В США от восточного побережья к западному на континентальной территории располагается 4 часовых пояса. Зимнее время считается основным (standard time); летом часы переводят на час вперед для экономии электроэнергии (daylight saving time).

ВРЕМЯ, СРЕДНЕЕ ГРИНВИЧСКОЕ (Greenwich Mean Time, GMT) — см. *Время, всемирное*.

ВРЕМЯ, СРЕДНЕЕ СОЛНЕЧНОЕ — время, измеряемое часовым углом некоторой воображаемой точки, называемой «средним солнцем» и движущейся равномерно по небесному экватору с периодом в год, причём положение среднего солнца совпадает с центром истинного Солнца в моменты осеннего и весеннего равноденствий. Среднее солнечное время — это часовая дуга среднего солнца, увеличенная на 12 часов. Когда среднее солнце пересекает на юге небесный меридиан, среднее солнечное время равно 12 часам полудни. Среднее солнечное время отличается от истинного солнечного времени из-за эллиптичности земной орбиты и её наклона к экватору. Разность между средним солнечным и истинным солнечным временами равна поправке, называемой уравнением времени, не превышающей 16 минут, вычисляемой теоретически и приводимой в астрономических календарях.

ВРЕМЯ, ЭФЕМЕРИДНОЕ (ET) — время, определённое по орбитальному движению небесных тел, в основном Луны. Эфемеридное время имеет равномерную шкалу и используется для вычисления координат планет, комет и астероидов. Оно было введено, чтобы не зависеть от неравномерных и непредсказуемых колебаний вращения Земли — основы исчисления всемирного времени (UT). Разница между UT и ET по определению равнялась нулю в начале XX в., а к концу XX в. составила около 1 минуты. В 1984 г. на смену эфемеридному времени было введено динамическое время.

ВРЕМЯ ЖИЗНИ ВОЗБУЖДЁННОГО АТОМА — средняя продолжительность пребывания атома в возбуждённом состоянии до его самопроизвольного перехода в бо-

лее низкое (обычно в основное) состояние. Время жизни является обратной величиной вероятности перехода электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий. Значение времени жизни возбуждённого атома заключено в пределах от 10^{-8} с для обычных переходов электрона до 0,001 с и даже вплоть до 10^7 лет для переходов, приводящих к излучению запрещённых спектральных линий.

ВРЕМЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА — время, которое нужно свету, чтобы достичь Земли (свет проходит 1 а. е. за 499 секунд). Взаимное перемещение объектов Солнечной системы приводит к тому, что расстояние между ними, а значит, и время распространения света меняются. Это проявляется в различном запаздывании, с которым земной наблюдатель видит положение объектов в разные ночи. В силу небольших расстояний в Солнечной системе эффект различия во времени распространения света приводит к заметным угловым поправкам. На межзвёздных расстояниях этот угловой эффект незначителен, но если речь идёт о моменте события, например о моменте затмения в системе короткопериодической двойной звезды, фазе пульсации переменной звезды или моментах приёма сигналов пульсара, то расстояние до объекта не имеет значения, и эффект перемещения наблюдателя должен быть учтён. Это делается путём приведения момента наблюдения к барицентру Солнечной системы (фактически используется гелиоцентрическое время).

ВСЕЛЕННАЯ — весь окружающий нас мир. Астрономы и физики обычно подразумевают под этим ту его часть, которая в принципе доступна изучению естественно-научными методами. Астрономическая Вселенная, или Наблюдаемая Вселенная, или Метагалактика — это часть Вселенной, доступная наблюдениям в настоящее время или в обозримом будущем. Наиболее далёкие из наблюдаемых сейчас галактик находятся на расстояниях, превышающих 90% от расстояния, предельно доступного для любых (нейтринных, гравитационных и пр.) телескопов. К тому же наблюдаемая часть Вселенной, скорее всего, является лишь небольшой частью всей безграничной Вселенной.

Возраст Вселенной — время, прошедшее от начала её расширения; по современным оценкам он составляет около 14 млрд лет. Размер видимой части Вселенной зависит от методов и объектов наблюдений, но он не может превышать расстояние, которое излучение, распространяющееся со скоростью света, проходит за время, равное возрасту Вселенной, т. е. около 14 млрд св. лет. Этот предельный размер иногда называют видимым радиусом Наблюдаемой Вселенной. Но предельно далёкие объекты мы видим в их далёком прошлом. Пока их свет шёл к нам, они удалились от нас ещё дальше. Современное вычисленное расстояние до самых далёких объектов космологии называют горизонтом Вселенной. Это расстояние составляет 48 млрд св. лет.

ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЁЗДЫ — переменные звёзды, яркость которых резко и непериодически возрастает на короткое время, как правило, на несколько минут. Амплитуда вспышки может достигать 7^m , хотя обычно не превосходит $1^m - 2^m$. Начало вспышки очень резкое: блеск звезды может возрасти вдвое всего за несколько секунд. Спадание блеска происходит медленнее: у слабых вспышек за десятки секунд или минуты, у сильных — за десятки минут или часы. Среднее время между вспышками составляет от часа до суток. По своей природе эти вспышки сходны с солнечными вспышками. Большинство вспыхивающих звёзд — красные карлики спектрального класса M; их массы и светимости значительно меньше солнечных. Часто это молодые звёзды, ещё не достигшие главной последовательности. Прототипом и наиболее изученной вспыхивающей звездой служит UV Кита (UV Cet).

ВСПЫШКИ НА СОЛНЦЕ — неожиданные и кратковременные возрастания яркости небольших участков хромосферы вблизи солнечных пятен или групп пятен, вызванные резким выделением энергии магнитного поля над фотосферой. Вспышки на Солнце представляют собой самое мощное из всех проявлений солнечной активности. За несколько минут в области мощной солнечной вспышки выделяется энергия около 10^{25} Дж, что приблизительно в 100 раз превышает тепловую энергию, которую можно

было бы получить при сжигании всех разведанных на Земле запасов нефти и угля. Эта гигантская энергия, выделяющаяся на Солнце за несколько минут, соответствует средней за этот период мощности 10^{22} Вт. В отдельные моменты времени, в частности во время взрывной, или импульсной, фазы развития, мощность может быть ещё в несколько раз больше. Но при этом мощность вспышки не превышает сотых долей процента от мощности полного излучения Солнца $4 \cdot 10^{26}$ Вт. Поэтому при вспышке не происходит заметного увеличения светимости Солнца. Лишь самые большие вспышки на Солнце можно заметить в белом свете, в континууме. Обычно вспышки наблюдаются как значительное увеличение яркости участков поверхности Солнца в свете хромосферных линий, в частности в линии водорода H α , поэтому на протяжении многих лет широко использовался термин «хромосферная вспышка», который, однако, не соответствует сущности этого интереснейшего явления в атмосфере Солнца.

Основная часть энергии солнечной вспышки выделяется в виде кинетической энергии выбросов вещества, движущихся в короне и межпланетном пространстве со скоростями до 1000 км/с, энергии жёсткого электромагнитного излучения и потоков частиц, ускоренных до гигантских энергий (иногда десятки ГэВ). Радиоизлучение вспышки, в отличие от излучения спокойного Солнца, также свидетельствует о наличии ускоренных частиц и о нетепловом характере механизма вспышки.

Солнечные вспышки сильно воздействуют на ионосферу, вызывая нарушения радиосвязи, работы радионавигационных устройств и т. п. Вспышки существенно влияют на состояние околоземного космического пространства. В связи с пилотируемыми космическими полётами возникла серьёзная задача защиты космонавтов от ионизирующего излучения вспышек и необходимость прогнозирования возможной радиационной опасности. Имеются также свидетельства влияния вспышечной активности на погоду и состояние биосферы.

ВТОРИЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ — космические лучи, образовавшиеся в результа-

те взаимодействия первичных космических лучей со средой (обычно с земной атмосферой).

ВЫСОКОШИРОТНЫЕ И ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ОБЛАКА — газовые облака в Галактике, наблюдаемые на высоких галактических широтах и имеющие большие лучевые скорости. Большинство таких облаков движется к галактической плоскости. Их скорости вдоль луча зрения, определяемые по эффекту Доплера, достигают в отдельных случаях ~ 300 км/с (знак минус означает приближение к наблюдателю). В центральной области Галактики (до высот 2 кпк над галактической плоскостью) обнаружены также облака газа, удаляющиеся от центра Галактики со скоростями, возможно, превосходящими параболическую скорость. Типичное количество атомов водорода на луче зрения (в столбе сечением 1 см^2) составляет $\sim 10^{20} \text{ см}^{-2}$. Температура газа в них, по-видимому, не превосходит нескольких сотен кельвинов. Такие облака наблюдают как в радиолинии водорода 21 см, так и в оптических линиях водорода (H α и H β), а также в спектральных линиях поглощения ионов CII (УФ-диапазон) при наблюдениях звёзд Магеллановых Облаков на просвет через гало Галактики.

Высокоширотные и высокоскоростные облака не представляют единой популяции объектов. Например, Магелланов Поток, протяжённое облако межгалактического газа, пересекающее в виде длинной прерывистой дуги небо Южного полушария, возник, вероятно, в результате приливного воздействия Галактики на Магеллановы Облака. Внегалактическую природу имеют и некоторые огромные — от многих десятков до сотен килопарсеков — облака, наблюдаемые в линии 21 см рядом с более далёкими соседними галактиками. Другие высокоскоростные облака, возможно, являются наиболее внешними частями спиральных рукавов нашей галактики. Они видны на высоких галактических широтах из-за искривления внешних частей диска Галактики. Некоторая часть облаков, возможно, когда-то была выброшена из центра Галактики при происходивших там $\sim 10^7$ – 10^8 лет назад активных процессах. По крайней мере высоко-

широтные и высокоскоростные облака в области галактического центра, скорее всего, связаны именно с его активностью.

ВЫРОЖДЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, в которых гравитации противостоит давление вырожденного газа; к ним относятся белые карлики и нейтронные звезды.

ВЫРОЖДЕННЫЙ ГАЗ — газ из элементарных частиц с полуцелым спином (так называемый ферми-газ, т. е. состоящий из фермионов — электронов, нейтронов, протонов, нейтрино...), имеющий столь низкую температуру или столь высокую концентрацию частиц, что его физические свойства определяются квантово-механическим взаимодействием частиц.

Согласно принципу запрета Паули, частицы с полуцелым спином могут заполнять фазовое пространство (шестимерное пространство координат и импульсов) строго определённым образом: в каждом квантовом состоянии может находиться одновременно не более одной частицы данного сорта, т. е. в одной элементарной «ячейке» фазового пространства может размещаться не больше двух частиц с противоположно направленными спинами. Если в одной ячейке координатного подпространства скапливается много частиц (т. е. плотность газа высока), эти частицы «вынуждены» заполнять множество ячеек в подпространстве импульсов, начиная с малых значений импульса и далее всё выше. Таким образом, в плотном газе все уровни энергии — от нижнего до весьма высокого — оказываются заполненными, поэтому многие частицы имеют большой импульс.

Характерное свойство вырожденного газа — зависимость давления только от плотности и крайне слабая зависимость от температуры. Состояние вырождения газа наступает, когда кинетическая энергия хаотического движения частиц (фактически температура) мала или плотность достаточно велика, так что соседние частицы начинают «чувствовать» друг друга и на первый план выходит их квантовомеханическое взаимодействие. В астрофизике такая ситуация возникает в белых карликах и нейтронных звёздах. В белых карликах вырождены электроны, в нейтрон-

ных звёздах — нейтроны. В обычных земных телах также встречается вырождение — так, электроны проводимости в металлах при комнатной температуре вырождены. Этим объясняется, в частности, высокая теплопроводность металлов.

Для астрофизики наиболее интересны вырожденные ферми-газы: электронный вырожденный газ и вырожденный газ нейтронов. Именно градиент давления вырожденного газа электронов уравнивает силу тяжести в белых карликах. В нейтронных звёздах эту роль играет градиент давления вырожденного газа нейтронов. Вырожденный нерелятивистский газ нейтронов при той же концентрации имеет давление в $m_n/m_e \approx 1839$ раз меньше, чем вырожденный газ электронов. Но в нейтронных звёздах концентрация нейтронов значительно выше концентрации электронов.

Г

ГАЛАКТИКА (с заглавной буквы) — гигантская звёздная система, в состав которой входит и наша Солнечная система. Нашу звёздную систему, объединяющую окружающие нас звезды, называют «Галактикой» (с большой буквы), или «нашей галактикой», или «галактикой Млечный Путь»; последнее название (Milky Way) принято в англоязычной научно-популярной литературе.

Всего в Галактике порядка 300 млрд звёзд, большая часть которых образует диск, вращающийся вокруг центра масс Галактики. Это все звёзды, видимые на небе невооружённым глазом или в небольшой телескоп, а также большая масса межзвёздного газа, пыли и тёмной материи неизвестной пока природы. Звёздный диск — наиболее яркая структурная часть Галактики; он виден невооружённым глазом как светлая полоса Млечного Пути (именно поэтому иногда Галактику называют «Млечный Путь»).

В диске Галактики выявлены области повышенной концентрации вещества — спиральные рукава. Поэтому наша Галактика относится к типу спиральных систем средней массы. Весьма вероятно, что в центральной части галактического диска суще-

ствует вытянутое уплотнение — бар. Поэтому морфологический тип Галактики обычно определяется как SBc или SBbc.

Динамический центр Галактики — наиболее плотная её часть — находится на расстоянии около 25 тыс. св. лет (8 кпк) от нас в направлении созвездия Стрелец. Солнце обращается вокруг галактического центра со скоростью около 220 км/с по орбите, заключённой в пределах диска Галактики. Период орбитального обращения Солнца (галактический год) — около 220 млн лет. В самом центре Галактики находится плотное звёздное скопление — ядро, в середине которого, по-видимому, расположена чёрная дыра массой около 4 млн $M_\odot$.

Диск Галактики окружён обширным гало, содержащим некоторое количество звёзд и шаровых звёздных скоплений, но в основном состоящим из тёмной материи. Размер видимого тела Галактики около 100 тыс. св. лет, или 30 кпк. Но определённую границу Галактики указать трудно. Движение наиболее далёких звёзд, шаровых скоплений и карликовых галактик-спутников указывает, что тёмное гало Галактики тянется не менее чем на 100 кпк от её центра. Масса всех видов вещества Галактики до расстояния в 50 кпк от центра составляет $7 \cdot 10^{11} M_\odot$, а до расстояния 100 кпк приблизительно $(10\text{--}15) \cdot 10^{11} M_\odot$.

ГАЛАКТИКИ — гигантские гравитационно связанные системы из звёзд, планет, остатков звёздной эволюции, газово-пылевой облачной среды, заполняющей пространство между звёздами, а также вещества неизвестной пока природы, проявляющего себя только посредством гравитации («тёмная материя»). Галактики бывают спиральные, как ближайшая к нам крупная галактика в созвездии Андромеды (M31), или пересечённые спиральные, как NGC 5850. Бывают также галактики эллиптической формы (M87), неправильной формы (Большое и Малое Магеллановы Облака) и некоторые другие (см. *Классификация галактик*). Массы галактик лежат в интервале от 10^7 до $10^{12} M_\odot$; размеры — от 1 до 100 килопарсеков. Слово «галактика» происходит от греч. *galaktikós* — млечный, молочный, поскольку так называли в древности Млечный Путь.

ГАЛАКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ — система небесных координат, в которой за основную плоскость взят большой круг небесной сферы, называемый галактическим экватором и проходящий вдоль центральной линии Млечного Пути. Плоскость этого круга обычно называют «плоскостью Галактики». Поскольку Солнце располагается вблизи центральной плоскости галактического звёздного диска (представленного на небе Млечным Путём), плоскость галактического экватора действительно близка к экваториальной плоскости Галактики. Галактическая система координат используется в работах по звёздной астрономии и галактической динамике, поскольку в силу высокой симметрии Галактики именно в этой системе координат наиболее просто выглядят математические выражения, описывающие распределение в пространстве и движение звёзд и межзвёздного вещества.

В галактической системе координат положение точки на небесной сфере определяется галактической широтой (b) и галактической долготой (l), которые измеряются в угловых градусах. Галактическая широта отсчитывается от галактического экватора, со знаком плюс в сторону северного полюса Галактики и со знаком минус — в сторону южного полюса. Галактическая долгота отсчитывается вдоль галактического экватора, от направления на центр Галактики в сторону возрастания прямых восхождений.

В астрономических системах координат началом отсчёта «долгот» традиционно служит точка пересечения базовых плоскостей, которую всегда можно восстановить, наблюдая за движением светил. В экваториальной и эклиптической системах координат это точка весеннего равноденствия, в которой пересекаются небесный экватор и эклиптика. От неё отсчитываются и прямое восхождение, и эклиптическая долгота. Этот же принцип первоначально использовали при введении галактической системы координат. Галактический экватор пересекается с небесным экватором под углом около 63° . Точка их пересечения, в которой лежит восходящий узел Млечного Пути, была принята за начало отсчёта галактической долготы. Экваториальные координаты

этой точки: $\alpha = 18^h 40^m$ и $\delta = 0^\circ$ для эпохи равноденствия 1900,0.

Однако с развитием в 1950-е гг. радиоастрономии выяснилось, что на галактическом экваторе имеется естественная выделенная точка — направление на центр Галактики, с которой можно связать систему галактических координат, и из-за высокой симметрии Галактики пользоваться ею станет значительно удобнее. Поэтому в 1958 г. по решению МАС в галактическую систему координат были внесены изменения. Важнейшее из них состоит в том, что начало отсчёта галактической долготы передвинули примерно на 33° , совместив его с направлением на центр Галактики (каким оно тогда представлялось). Во избежание путаницы координаты в старой системе решено было обозначать l^I и b^I , а в новой — l^{II} и b^{II} . Так поступали до 1970 г., когда специалисты по исследованию Галактики решили, что новая система координат стала привычной и впредь можно не добавлять индекс «II» к буквам l и b , считая, что эти символы относятся только к новой (второй) системе. К сожалению, не все астрономы и особенно астрофизики оказались готовы к этому решению: ещё и 40 лет спустя встречались досадные ошибки, вызванные путаницей между системами галактических координат.

В момент введения современной (новой, второй) системы галактических координат в 1959 г. базовой координатной системой в астрономии была экваториальная система для эпохи равноденствия 1950,0. Поэтому систему галактических координат определили так: северный галактический полюс имеет экваториальные координаты $\alpha = 12^h 49^m$ и $\delta = +27,4^\circ$ (B1950), то есть лежит в созвездии Волосы Вероники. Южный полюс лежит в созвездии Скульптор. Нулевой круг галактической долготы проходит вблизи направления на центр Галактики таким образом, что северный полюс мира имеет галактическую долготу 123° (рост галактической долготы идёт в направлении роста прямого восхождения).

Сейчас в астрономии широко используется эпоха равноденствия J2000, которую впредь решено оставить неизмен-

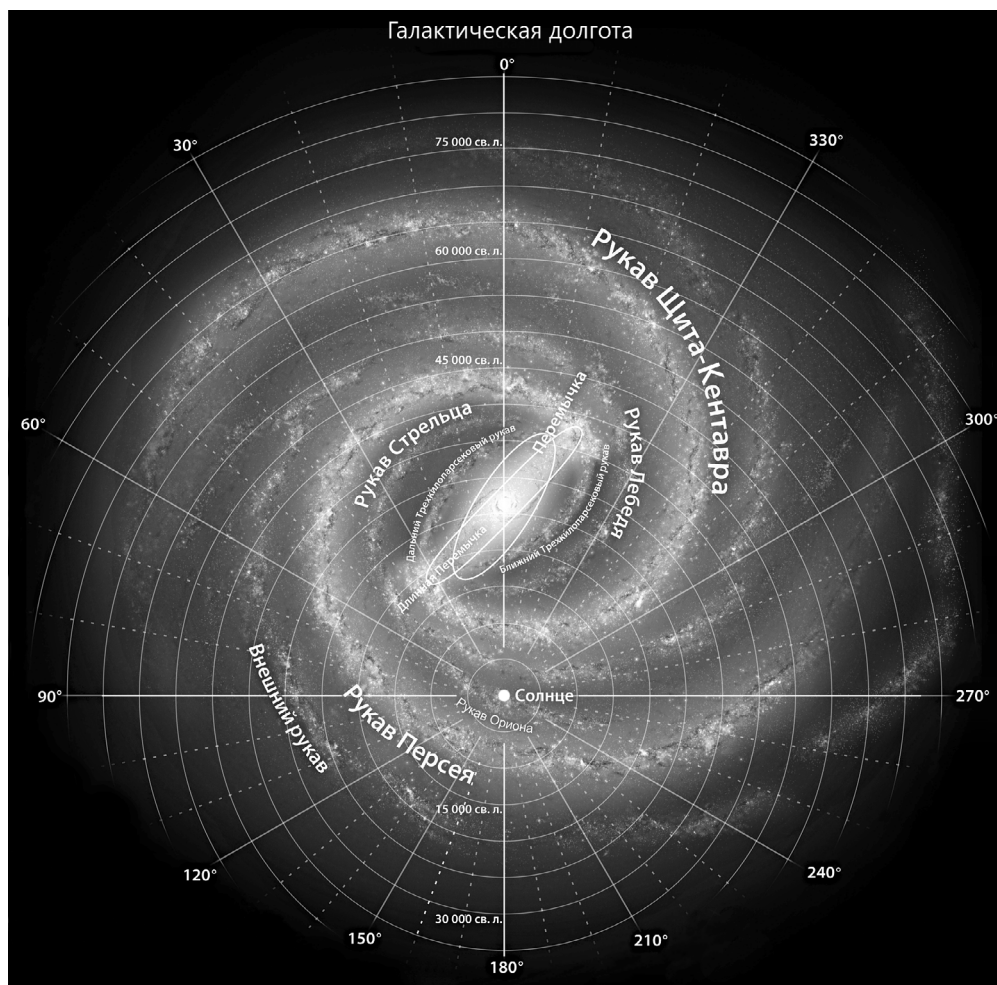
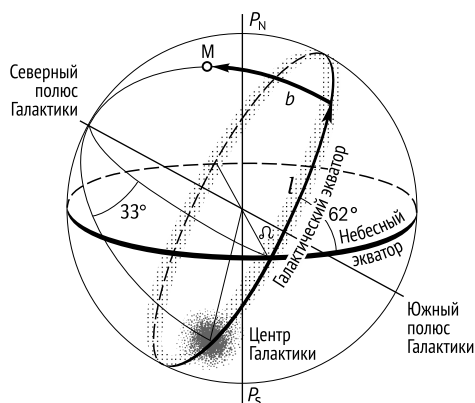


Схема галактической долготы на фоне двухрукавной модели Галактики

ной, «закрепив» экваториальную систему координат относительно очень далёких, «неподвижных» квазаров. Теперь это уже и не экваториальная система, поскольку она не связана более с положением земного экватора, которое постоянно меняется из-за прецессии и нутации земной оси, поэтому её новое название — «Международная небесная система отсчёта» (ICRS), а её свойства очень близки к идеальной инерциальной системе отсчёта. Положение галактической системы координат должно оставаться в ней практически неизменным. Северный галактический полюс имеет координаты $\alpha = 12^{\text{h}} 51^{\text{m}} 26,282^{\text{s}} = 192,859508^{\circ}$ и $\delta = +27^{\circ} 07' 42,01'' = +27,128336^{\circ}$ (J2000). Северный полюс мира имеет галактическую

долготу $122,932^{\circ}$. Точка на небе, у которой галактические широта и долгота равны нулю, имеет координаты $17^{\text{h}} 45^{\text{m}} 37,224^{\text{s}}$ и $-28^{\circ} 56' 10,23''$ (J2000); в десятичных долях градуса это $266,405100^{\circ}$ и $-28,936175^{\circ}$. Это направление немного не совпадает с направлением на компактный радиоисточник Стрелец А* (Sagittarius A*), который ныне считается физическим центром Галактики. Его координаты составляют $17^{\text{h}} 45^{\text{m}} 40,04^{\text{s}}$ и $-29^{\circ} 00' 28,1''$ (J2000), что соответствует галактической долготе $359^{\circ} 56' 39,5''$ и галактической широте $-0^{\circ} 02' 46,3''$.

Следует иметь в виду, что в некоторых астрономических проектах галактическая система координат определяется немного иначе. Например, при обработке результа-



Галактическая система координат: b — галактическая широта, l — галактическая долгота

тов проекта ГИПАРКОС для северного галактического полюса были приняты координаты $\alpha = 192,85948^\circ$ и $\delta = +27,12825^\circ$. Возможно, именно это определение в конце концов утвердится как основное.

ГАЛАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР — центральная область Галактики радиусом ≈ 1 кпк с отличиями от её остальных частей характеристиками. Галактический центр находится в направлении созвездия Стрелец (Sagittarius) на расстоянии ≈ 8 кпк от Солнца. Наличие межзвёздной пыли в галактической плоскости препятствует оптическим, ультрафиолетовым и мягким рентгеновским наблюдениям галактического центра (поглощение света в этом направлении превышает 27^m), но практически не мешает наблюдениям в ИК-, радио-, жёсткой рентгеновской и γ -областях спектра. Все имеющиеся данные о центральной части Галактики получены путём интерпретации линейчатого и непрерывного излучения диффузной среды — газа и пыли — в ИК- и радиодиапазонах. Звёздное население в центре Галактики доступно наблюдениям с большой неполнотой: в основном регистрируется излучение красных гигантов. Но косвенные данные указывают, что в пределах 1 кпк в звёздах сосредоточено более 99% массы этой области (остальное вещество — газ с ничтожной примесью пыли и, возможно, сверхмассивная чёрная дыра в самом центре Галактики).

Распределение массы (M) в галактическом центре исследуют по скорости (v) движения газовых облаков вокруг этого центра.

Круговую скорость $v_{кр} = \sqrt{GM/R}$ определяют по смещению или ширине спектральных линий нейтрального водорода (21 см), рекомбинационных радиолний возбуждённого водорода, линий поглощения молекул OH, CO, H_2CO и др.

Из того факта, что $v_{кр}$ облаков газа почти не зависит от R (и равна $\approx 200 \pm 50$ км/с), следует, что полная пространственная плотность вещества звёзд, газа и пыли в галактическом центре $r \sim R^{-2}$. Поверхности постоянной пространственной плотности звёзд в этой области имеют форму вытянутого эллипсоида с отношением осей 1:1:2. Это так называемый галактический бар. Кроме распределения пространственной плотности, о звёздном населении галактического центра известно мало. Вызывает удивление существование в этой области, даже в самой центральной её части радиусом ~ 1 пк, значительного количества молодых звёзд (спектральных классов O, B и типа Вольфа — Райе): звёздообразование в этой области чрезвычайно затруднено из-за действия мощных приливных сил, однако есть указания на то, что время от времени, с характерным промежутком 500 млн лет, здесь происходят вспышки звёздообразования.

Распределение диффузной среды в этой области носит сложный характер. В ней имеется вращающийся диск из молекулярного и атомарного водорода радиусом около 600 пк, масса газа в нём $\approx 2 \cdot 10^7 M_\odot$, в том числе нейтрального атомарного водорода $\approx 4 \cdot 10^6 M_\odot$ (остальной газ находится в форме плотных облаков молекулярного водорода H_2). Ось вращения центрального газового диска наклонена на несколько градусов по отношению к оси вращения Галактики.

Область галактического центра радиусом 150 пк заполнена ионизованным водородом (область HII) с массой газа $\approx 1,4 \cdot 10^6 M_\odot$, температурой 5000 K и средней концентрацией частиц ~ 10 см $^{-3}$. Здесь видны отдельные дискретные источники теплового излучения с радиусами ~ 10 пк, электронной концентрацией ~ 100 электрон/см ^{3} и массой 10^3 – $10^4 M_\odot$. Ионизация газа в центре Галактики связана с высоким темпом звёздообразования и с большим количеством молодых горячих звёзд. В области радиусом

50 пк там находится около 100 звёзд спектрального класса O6V. Поток ИК-излучения от галактического центра в значительной степени связан с излучением пыли, нагретой горячими O-звёздами и красными гигантами и сверхгигантами.

Среди источников радиоизлучения в центральной области Галактики выделяются три: Стрелец А Западный (Sgr A West), Стрелец А Восточный (Sgr A East) и Стрелец B2 (Sgr B2). Последние два являются молекулярными облаками с массами $\sim 10^6 M_\odot$, радиусами 20 пк и расстоянием от центра Галактики $\approx 100\text{--}200$ пк. В них расположены мощные очаги звёздообразования. Движение газовых облаков в районе центра Галактики носит сложный характер: наблюдается не только круговой, но и радиальный компонент скорости, направленный преимущественно от центра.

Источник Sgr A West совпадает с динамическим центром Галактики и имеет размер ~ 10 пк. Эту область принято называть ядром Галактики. В ядре обнаружены точечные источники, отождествлённые по наблюдениям линии поглощения молекулы CO с красными гигантами, а также отдельные плотные газовые конденсации размером $\sim 0,1$ пк. Динамика газа в этой области изучалась по наблюдениям линии Ne II (12,8 мкм), которые показали, что с приближением к центру скорость движения газовых облаков возрастает: если на расстоянии 2 пк от центра она составляет 150 км/с, то на расстоянии 0,4 пк — уже 300 км/с. Большинство исследователей полагают, что это связано с наличием в центре Галактики сверхмассивной ($4 \cdot 10^6 M_\odot$) чёрной дыры, но при этом удивляет низкая активность ядра Галактики, плохо совместимая с присутствием там чёрной дыры. Например, рентгеновская светимость ядра в диапазоне 2–10 кэВ не превышает 10^{29} Вт, тогда как не очень активное ядро Туманности Андромеды, по-видимому, имеет рентгеновскую светимость $\sim 10^{31}$ Вт, а активные ядра сейфертовских галактик — $\sim 10^{35}\text{--}10^{38}$ Вт.

В Sgr A West обнаружено «ядрышко» размером около $0,01''$, генерирующее мощное нетепловое радиоизлучение в сантиметровом диапазоне длин волн. В его центре мето-

дами межконтинентальной радиоинтерферометрии на волне 3,8 см зарегистрировано ещё более яркое пятно, дающее четверть всего излучения. Его размер ничтожно мал — менее $0,001''$ (менее 10 а. е.). Причём найдена лишь верхняя граница размера ядрышка, в действительности оно может быть значительно меньше. Светимость ядрышка в радиодиапазоне $\sim 10^{26}$ Вт, а его яркостная температура $\sim 10^{10}$ К. При этом светимость единицы объёма излучающей области почти не уступает объёмной светимости квазаров.

ГАЛАКТИЧЕСКИЙ ЭКВАТОР — большой круг небесной сферы, проходящий вдоль Млечного Пути и равноотстоящий от галактических полюсов.

ГАЛИЛЕЕВЫ СПУТНИКИ ЮПИТЕРА — четыре крупнейших спутника Юпитера (Ио, Европа, Ганимед и Каллисто), открытые Галилео Галилеем в г. Падуя между декабрём 1609 г. и январём 1610 г. с помощью первого созданного им телескопа. Формальными датами открытия Ганимеда и Каллисто считают 7 января, а Ио и Европы — 8 января 1610 г. Сначала Галилей намеревался назвать их «Cosmica Sidera» (Звёзды Козимо) в честь великого герцога Тосканского Козимо II Медичи (1590–1621), но затем решил назвать их «Medicea Sidera» (Звёзды Медичи) в честь братьев Медичи — Козимо, Франческо, Карло и Лоренцо. В 1610 г. Козимо II пригласил Галилея вернуться во Флоренцию, предоставив ему почётное и хорошо оплачиваемое место своего советника и личного представителя. Галилей также руководил обучением детей герцогской четы.

Современные названия спутников — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто — предложил в 1614 г. немецкий астроном Симон Мариус (1573–1624) в своей книге «Mundus Jovialis» (Мир Юпитера). Эти имена он выбрал в честь мифических возлюбленных Зевса/Юпитера. Вероятно, Мариус открыл эти спутники сам, но немного позже Галилея. Некоторые учёные XVII в. предлагали для спутников Юпитера иные названия, но они не получили признания. В астрономической практике последующих столетий для Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто использовались обозначения «Юпитер I», «Юпитер II», «Юпитер III» и «Юпитер IV»; ими же пользовался в своих за-



Галилеевы спутники Юпитера и Луна
в едином масштабе

писях и сам Галилей (но не публиковал их). Предложенные Мариусом названия стали популярными только с середины XX в.

Своими размерами галилеевы спутники Юпитера похожи на Луну. И так же, как Луна, они обращаются вокруг Юпитера синхронно с вращением вокруг своей оси, постоянно демонстрируя Юпитеру лишь одно из своих полушарий. Причиной этого, как и в системе Земля — Луна, служит гравитационное приливное влияние массивной планеты на свои спутники. Между орбитальными периодами Ио, Европы и Ганимеда наблюдается резонанс с отношениями 1:2:4. С удалением от Юпитера монотонно изменяется средняя плотность спутников, уменьшаясь от Ио ($3,53 \text{ г/см}^3$) к Каллисто ($1,83 \text{ г/см}^3$).

ГАММА-АСТРОНОМИЯ — область астрономии, в которой природа космических объектов исследуется по их излучению в диапазоне энергии выше нескольких сотен килоэлектронвольт (кэВ). Источниками космического γ -излучения обычно служат взрывы сверхновых звёзд, аннигиляция вещества и антивещества, рождение чёрных дыр, аккреция газа на нейтронные звёзды и процесс радиоактивного распада атомных ядер, которые, например, в изобилии рождаются при взрывах сверхновых.

Детекторами γ -лучей, как правило, служат сцинтилляторы (в которых вещество поглощает γ -кванты, испуская оптические фотоны) либо искровые камеры (в которых высокое напряжение вызывает искровые пробои в тех местах, где γ -квант взаимодействует с заполняющим камеру газом).

Кроме космических, существуют и наземные γ -телескопы, регистрирующие наиболее жёсткое излучение, с энергией квантов больше нескольких десятков ГэВ. Это так называемые черенковские телескопы, фиксирующие вспышку света в атмосфере Земли при попадании в неё высокоэнергичного γ -кванта. Идея этого метода состоит в следующем. Гамма-квант сверхвысокой энергии, проходя через земную атмосферу и взаимодействуя с атомами воздуха, рождает ливень элементарных частиц. Каждая заряженная частица этого ливня, двигаясь с околосветовой скоростью (которая выше скорости распространения света в атмосфере), вызывает черенковское свечение. Поток оптических фотонов распространяется в том же направлении, что и породивший его γ -квант. Остаётся только зарегистрировать этот свет.

ГАММА-ВСПЛЕСКИ — кратковременные вспышки космического γ -излучения, регулярно фиксируемые орбитальными обсерваториями уже несколько десятилетий и до недавних пор остававшиеся не отождествленными с какими-либо космическими объектами. Первый γ -всплеск зарегистрировали 2 июля 1967 г. американские военные спутники серии «Vela», следившие за соблюдением международного договора от 1963 г. о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой. Одновременная регистрация несколькими спутниками показала, что этот и последующие γ -всплески не вызваны ядерными взрывами на Земле. Но где именно расположены их источники, долгие годы оставалось загадкой. Основная трудность в том, что γ -детекторы имеют очень низкое угловое разрешение, т. е. крайне неточно указывают направление на источник. До 1973 г. о γ -всплесках не сообщали в открытой печати. Спутники фиксировали по несколько всплесков в год. Учёным сообщили о них, когда окончательно стало ясно, что всплески не вызваны искусственными взрывами, а имеют космическое происхождение. По мере роста чувствительности детекторов спутники стали фиксировать до нескольких вспышек в сутки. Их обозначают как GRB (Gamma-Ray Burst);

например, GRB 030329 означает γ -всплеск, наблюдавшийся 29 марта 2003 г.

Оказалось, что γ -всплески с энергией в десятки и сотни кэВ наблюдаются в совершенно произвольных направлениях на небе, и каждая такая вспышка на короткое время (от долей секунды до нескольких минут) становится ярче всех прочих небесных γ -источников. Изотропное распределение вспышек на небе разделило многочисленные гипотезы об их происхождении на два типа: источники вспышек должны располагаться либо ближе 100 пк (характерная толщина галактического диска), либо дальше 10 Мпк (характерный межгалактический масштаб). Большинство астрономов склонялось к локальным гипотезам (удары комет по нейтронным звездам, спонтанное разрушение коры нейтронных звёзд и т. п.), поскольку признание межгалактических расстояний до источников вспышек указывало бы на их фантастическую мощность. Для решения вопроса требовалось определить расстояние хотя бы до одного из источников. Но наблюдения только в γ -диапазоне не давали такой возможности, поскольку при их низком угловом разрешении не позволяли отождествить вспышку с известными объектами. Ситуация изменилась 28 февраля 1997 г., когда специализированный спутник «Верро-SAX» (Италия и Голландия) зарегистрировал всплеск сначала в γ -, а затем в рентгеновском диапазоне, где достигается более высокое угловое разрешение. Выяснилось, что за первоначальным всплеском излучения в γ -диапазоне обычно следует долгоживущее «послесвечение», излучаемое на более длинных волнах (рентген, УФ, оптика, ИК и радио). Используя метод последовательного уточнения координат при переходе в более мягкие диапазоны спектра, с помощью наземных телескопов вскоре стали обнаруживать оптическое послесвечение γ -всплесков, позволившее точно определить их положение на небе и отождествить с известными объектами.

Оказалось, что большинство таких вспышек происходит в очень далёких галактиках, находящихся на расстояниях в миллиарды световых лет. Мощность этих взрывов невероятно велика: если при вспышке энер-

гия излучается изотропно, то светимость источника превышает 10^{45} Вт (для сравнения — светимость большинства квазаров не превышает 10^{40} Вт). Поэтому большинство исследователей считает, что γ -всплеск — узкий луч мощного излучения, испускаемого во время вспышки гиперновой, когда быстро вращающаяся массивная звезда коллапсирует, превращаясь в чёрную дыру. При этом за несколько секунд высвобождается столько энергии, сколько Солнце излучается за всё время своей эволюции (10 млрд лет). Наши приборы замечают это событие, только если луч направлен на Землю. Скорее всего, это биполярный луч, выходящий из источника в двух диаметрально противоположных направлениях.

В каждой конкретной галактике такие события происходят редко — несколько раз за миллион лет. До сих пор все наблюдаемые γ -всплески происходили за пределами нашей Галактики (кроме явлений родственного типа — мягких повторяющихся γ -всплесков, которые ассоциируются со сравнительно близкими магнетарами). Если такое событие произойдёт в Галактике и γ -луч попадёт на Землю, то это может вызвать экологическую катастрофу.

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ — электромагнитное излучение наиболее коротковолнового (наиболее высокочастотного) диапазона. Имеет длину волны менее 0,01 нм, частоту колебаний выше $3 \cdot 10^{19}$ Гц. Энергия γ -квантов составляет более 125 кэВ. Со стороны более длинных волн γ -излучение граничит с рентгеновским излучением. Сквозь атмосферу Земли космическое γ -излучение не проходит, поэтому оно было обнаружено в лишь 1960-е гг. методами внеатмосферной астрономии. Природа его источников различна, но во всех случаях оно рождается при взаимодействии высокоэнергичных частиц (ядер атомов, электронов), поэтому космические γ -лучи связаны с мощными процессами выделения энергии. Самые близкие к нам их источники — солнечные вспышки.

Ряд источников γ -лучей отождествлён с нейтронными звёздами, оставшимися после вспышек сверхновых (например, нейтронная звезда-пульсар в центре Крабовид-

ной туманности), а также очень горячими аккреционными дисками в тесных двойных системах звёзд. Зарегистрировано также γ -излучение от некоторых активных ядер галактик и квазаров. До сих пор не до конца понятна природа загадочных вспыхивающих источников — так называемых γ -всплесков, которые почти ежедневно появляются непредсказуемым образом на короткое время (от нескольких секунд до десятков минут) в различных областях неба.

ГАНИМЕД (J III, Ganymede) — естественный спутник Юпитера; один из четырёх Галилеевых спутников. Автор открытия — Галилео Галилей, 1610 г. Большая полуось орбиты 1070,4 тыс. км. Орбитальный период 7,154553 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0013. Средняя орбитальная скорость 10,88 км/с. Наклонение орбиты к плоскости экватора Юпитера 0,20°. Масса $1,48 \cdot 10^{23}$ кг. Диаметр 5268 км. Средняя плотность 1,936 г/см³. Ускорение свободного падения у поверхности 1,4 м/с². Вторая космическая скорость у поверхности 2,74 км/с. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск 4,6^m и максимальное угловое расстояние от планеты 5' 51" для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности 110 К; колебания от 70 К до 152 К.

ГАРВАРДСКАЯ СИСТЕМА — система классификации спектров звёзд, разработанная в начале XX в. в Гарвардской обсерватории (США) и лёгшая в основу современной спектральной классификации. См. *Спектральные классы звёзд* и *Классы светимости*.

ГЕЛИАКИЧЕСКИЙ ВОСХОД — первый утренний восход звезды или планеты над горизонтом непосредственно перед восходом Солнца, в лучах утренней зари. Соответственно, гелиакический заход — заход объекта сразу после захода Солнца, т. е. в лучах вечерней зари. Гелиакический восход наблюдается после периода невидимости этого объекта, вызванного тем, что ранее его восход происходил в дневное время, на фоне светлого неба, и поэтому был невидим. Дата гелиакического восхода зависит от географической широты места, яркости объекта и его небесных координат. Поскольку при наблюдении звезды неизменного бле-

ска из фиксированного места на Земле эти величины неизменны, момент гелиакического восхода определённой звезды практически однозначно связан с датой года. Но на больших промежутках времени эта дата меняется из-за прецессии земной оси.

Гелиакический восход звезды Сириус играл важную роль в религии, астрономии и календаре Древнего Египта. Жрецы пользовались им для предсказания наступления разлива Нила, что было жизненно важно, так как позволяло своевременно подготовить поля и ирригационные сооружения. Период невидимости перед гелиакическим восходом для Сириуса составляет 70 сут. Утренний восход Сириуса трудно не заметить: это самая яркая звезда, поэтому Сириус заметен на столь ярком небе, когда другие звёзды уже не видны.

ГЕЛИЕВЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды спектральных классов O и B, в спектрах которых линии поглощения гелия очень сильны, а линии поглощения водорода слабы или вообще не видны. У экстремальных гелиевых звёзд, которые называют ещё «звёздами с дефицитом водорода», в спектре нет даже следов водорода. В спектрах умеренно гелиевых звёзд линии водорода заметны, но они гораздо слабее, чем у нормальных звёзд. Потеря или разрушение водородной оболочки звёзды обнажают гелиевое ядро. Это может случиться из-за сильного звёздного ветра, как у звёзд типа Вольфа — Райе, или из-за переноса массы с одного компонента двойной системы на другой. Раньше гелиевыми звёздами называли и нормальные B-звезды, у которых из-за высокой степени ионизации ослаблены линии водорода и из-за высокой степени возбуждения усилены линии гелия, но теперь этот термин к ним не применяют. Гелиевыми переменными называют звёзды типа Вp, в спектре которых интенсивность гелиевых линий периодически меняется: в некоторых фазах кажется, что объект очень богат гелием, в других гелиевые линии очень слабы или отсутствуют.

ГЕЛИОПАУЗА — внешняя граница гелиосферы, область столкновения солнечного ветра с межзвёздным веществом. Поток солнечного ветра там резко замедляется и уплотняется в виде ударной волны. Этот по-

граничный слой удалён от Солнца приблизительно на 150 а. е.

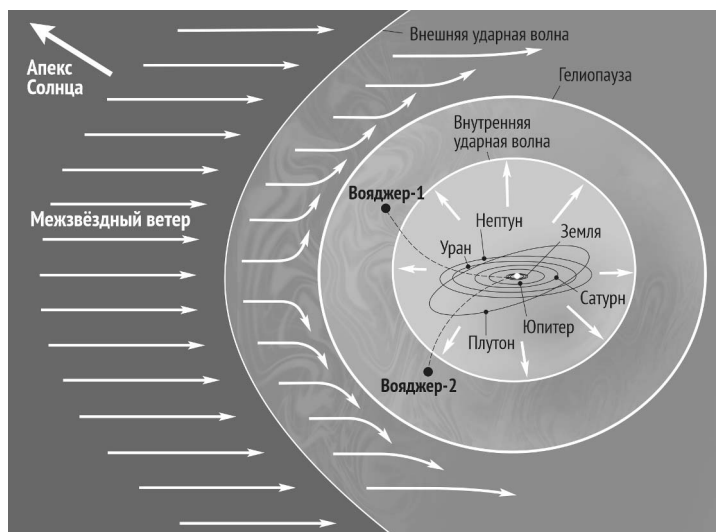
ГЕЛИОСЕЙСМОЛОГИЯ — изучение внутреннего строения Солнца на основе измерения колебаний солнечной поверхности. Этот метод аналогичен изучению недр Земли с помощью сейсмических (звуковых) волн.

ГЕЛИОСФЕРА — область космического пространства, занятая солнечным ветром. Эта область окружает Солнце; снаружи она ограничена гелиопаузой, за пределами которой находится межзвёздная среда. Расстояние границы гелиосферы от Солнца определяется балансом динамического давления солнечного ветра и давления межзвёздного газа и магнитного поля. Поскольку Солнечная система движется относительно межзвёздной среды со скоростью 20–25 км/с, гелиосфера должна быть несферична («кометообразна»). Теоретические оценки и косвенные экспериментальные данные показывают, что расстояние ударной волны от Солнца равно 80–100 а. е.; расстояние контактной поверхности гелиопаузы от ударной волны примерно в 2–3 раза меньше. Межзвёздный газ движется относительно Солнца со сверхзвуковой скоростью, поэтому за контактной поверхностью находится, по-видимому, ещё одна, внешняя, ударная волна, в которой происходит торможение межзвёздной плазмы. Оценки дают расстояние до внешней ударной волны около 230 а. е.

Прямые измерения описанных структур частично проводились с борта межпланетных зондов «Вояджер-1 и -2» (NASA, 1977) после их ухода за пределы планетной системы. «Вояджер-1» пересёк границу внутренней ударной волны в декабре 2004 г. на расстоянии около 94 а. е. от Солнца, а «Вояджер-2» — в конце августа 2007 г. на расстоянии около 84 а. е. от Солнца. Вероятно, форма внутренней ударной волны далека от идеальной. Более того, наблюдения рассеянного УФ-излучения Солнца с аппаратов «Кассини» и IBEX (Interstellar Boundary Explorer, NASA 2008) не подтверждают кометообразную форму гелиосферы: по их данным, она более сфероидальная, а её граница весьма турбулентна.

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА — предложенная Николаем Коперником в эпоху Возрождения схема движения Земли и других планет вокруг неподвижного Солнца. Заложила основу нынешнего представления о Солнечной системе, пришла на смену представлению о Земле как центре мироздания, что имело фундаментальное значение для развития естествознания.

ГЕМИНИДЫ — метеорный поток, демонстрирующий много ярких метеоров. Активен с 5 по 18 декабря каждого года. Максимальная активность наблюдается около 13 декабря. Название потока связано с тем, что его радиант лежит в созвездии Близнецов. Геоцентрическая скорость частиц пото-



Движение солнечного ветра и межзвёздной плазмы в гелиосфере и на её границе. Движение плазмы происходит вдоль траекторий, изображённых сплошными линиями.

ка — 35 км/с. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности — около 90. Родоначальником потока считается астероид 3200/Фаэтон.

ГЕОИД — эквипотенциальная поверхность, на море совпадающая со средним уровнем воды, а на континентах — с уровнем воды, который установился бы в сети каналов, соединяющихся с морем. «Высота над уровнем моря» какого-либо пункта на материке отсчитывается от поверхности геоида.

ГЕОМАГНИТНАЯ БУРЯ — возмущение геомагнитного поля длительностью от нескольких часов до нескольких суток. Это явление вызывается поступлением в окрестности Земли возмущённых потоков солнечного ветра и их взаимодействием с магнитосферой Земли. Во время геомагнитной бури возмущения магнитного поля у поверхности Земли имеют величину менее или порядка 1% от величины стационарного геомагнитного поля, так как последнее варьируется от 0,34 Э у экватора до 0,66 Э у полюсов Земли, то есть приблизительно равно $(30-70) \cdot 10^3$ нТл. По интенсивности геомагнитные бури обычно подразделяют на умеренные, при которых ослабление магнитного поля составляет от -50 до -100 нТл, сильные (от -100 до -200 нТл) и экстремальные (ниже -200 нТл). Частота появления умеренных и сильных бурь на Земле чётко коррелирует с 11-летним циклом солнечной активности: при средней частоте около 30 бурь в год их число может составлять 1-2 в год вблизи солнечного минимума и достигать 50 в год вблизи солнечного максимума.

ГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ — магнитное поле, созданное внутриземными источниками. В первом приближении оно напоминает поле магнитного диполя. Магнитный момент земного диполя примерно равен $8 \cdot 10^{15} \text{ А} \cdot \text{м}^2 = 8 \cdot 10^{25} \text{ Гс} \cdot \text{см}^3 = 0,3 \text{ Гс } R_e^3$ (где R_e — экваториальный радиус Земли). У поверхности Земли наибольшая индукция геомагнитного поля $B = 68 \text{ мкТл}$ (0,68 Гс), достигается вблизи магнитного полюса, расположенного у берегов Антарктиды (в физическом смысле это северный магнитный полюс, но географы называют его южным магнитным полюсом). Наименьшая индукция, 24 мкТл (0,24 Гс), достигается в Брази-

лии; это так называемая Бразильская магнитная аномалия.

ГЕОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МИРА (Птолемея система мира) — описанная древнегреческим астрономом Птолемеем система движения небесных тел, в которой Солнце, Луна и планеты обращаются вокруг неподвижной Земли. Эта система сохранилась вплоть до позднего Средневековья. Геоцентрическая система постепенно эволюционировала в сторону усложнения её математического аппарата, но не отступала от своего основного принципа — центрального положения Земли. Согласно поздним вариантам этой системы, планеты, Солнце и другие небесные светила обращаются вокруг Земли по орбитам, представляющим сложное сочетание круговых орбит (см. *Деферент* и *Эпицикл*). Геоцентрическую систему мира сменила гелиоцентрическая система мира Н. Коперника. В период смены парадигм предпринимались попытки синтеза двух этих систем (см. *Браге*, *Тихо*).

ГЕРКУЛЕС — большое экваториальное созвездие, расположенное между Лирией и Волпасом. Его не особенно яркие звезды образуют выразительную человекообразную фигуру. По греческой легенде, Геракл (Геркулес) был сыном Зевса и смертной женщины Алкмены. У греков это созвездие упоминалось ещё за пять веков до н. э. под именем «Геракл». Украшение созвездия — шаровое скопление М13, с трудом различимое невооружённым глазом как туманное пятнышко между звёздами η и ζ . Его суммарный блеск эквивалентен одной звезде 5,7^m. В этом древнем скоплении более миллиона звёзд, удалённых от нас на расстояние 22 000 св. лет. Все они гораздо старше Солнца. Визуальная двойная звезда α Геркулеса носит имя Рас Альгети, по-арабски «голова коленопреклонённого». Её главный оранжевый компонент хаотически меняет блеск от 3^m до 4^m, а его зелёно-голубой компаньон 5,4^m сам является тесной двойной системой с орбитальным периодом 51,6 сут. Эту великолепную оранжево-зелёную пару можно разделить в небольшой телескоп или мощный бинокль.

ГИАДЫ — рассеянное звёздное скопление, расположенное близко к Солнцу (130 св.

лет), содержащее 132 звезды ярче 9^m и ещё 259 более слабых возможных членов. Из-за близости к нам скопление имеет угловой диаметр 20° . Основная его часть наблюдается в созвездии Телец. На восточном краю Гиад расположена не относящаяся к ним яркая оранжевая звезда Альдебаран (α Тельца). Согласно одному из мифов, Гиады — дочери Атласа и Эфры; в таком случае они приходятся сводными сёстрами Плеядам.

ГИГАНТ — звезда значительно большей светимости и размера, чем у большинства звёзд того же спектрального класса. На диаграмме Герцшпрунга—Рассела большинство звёзд принадлежит главной последовательности, а звёзды-гиганты, уже покинувшие главную последовательность и движущиеся вдоль «ветви гигантов», приближаются к концу своей эволюции, увеличивая при этом свой радиус и светимость и уменьшая температуру своей поверхности. Особенно велико различие в размерах и светимостях между красными гигантами и красными карликами, населяющими нижнюю часть главной последовательности (спектральные классы K и M). Тогда как красные карлики в несколько раз меньше Солнца и светят в сотни раз слабее его, красные гиганты в десятки раз больше Солнца и светят в сотни раз сильнее. Звёзды ещё большей светимости и размера называют сверхгигантами.

ГИДРА — крупнейшее среди всех созвездий, протянувшееся в экваториальной области неба от Рака на западе до Весов на востоке. Компактная группа из шести звёзд под Раком — это «голова» Гидры. Ярчайшую из звёзд этого «водяного чудовища» (α Нуа) арабы называли Альфард, что значит «одинокая», поскольку вблизи неё нет ярких звёзд. Её также часто называют Сердцем Гидры (Cor Hydrae) или Сердцем Большого Змия. В «хвосте змея» располагается красный гигант R Нуа — долгопериодическая переменная, которую обнаружил Дж. Моральди в 1704 г. В те годы период изменения её блеска (от $3,5^m$ до 9^m) составлял около 500 суток, но к настоящему времени он сократился до 389 суток. Такие переменные звёзды причисляют к классу «мирид», названному так в честь звезды Мира Кита. Чрезвычайно красная переменная звезда

V Нуа относится к редкому типу углеродных звёзд; это красный гигант, в атмосфере которого конденсируется углерод.

ГИДРОМАГНИТНОЕ ДИНАМО (динамо-эффект) — самовозбуждение и поддержание в стационарном состоянии магнитных полей вследствие движения проводящей жидкости или газовой плазмы. Механизм подобен генерации электрического тока и магнитного поля в динамо-машине с самовозбуждением. С динамо-эффектом связывают происхождение собственных магнитных полей Солнца, Земли, звёзд и других небесных тел, а также их локальные поля, например поля пятен и активных областей на поверхности звёзд.

ГИПЕРГИГАНТ (англ. *hypergiant*) — звезда экстремально высокой светимости, имеющая абсолютную звёздную величину $M_V \approx -8,0^m - -9,5^m$ (т. е. светимость в сотни тысяч раз выше солнечной). Прежде такие звезды называли «сверх-сверхгигантами». На диаграмме Герцшпрунга—Рассела их последовательность обозначена классом светимости Ia+, или Ia-0, или просто 0. Гипергиганты — редчайшие звезды: в нашей Галактике известно не более дюжины таких объектов, хотя обнаруживаются они на очень больших расстояниях. Примеры гипергигантов: Р Лебедя (Р Cyg, спектральный класс B1 Ia-0), ρ Кассиопеи (ρ Cas, G2 Ia-0), Cyg OB2-12 (B5 Ia-0), 6 Cas (A2,5 Ia-0). По своим свойствам они близки к ярким голубым переменным (LBV) звёздам типа S Золотой Рыбы (S Dor), расположенной в Большом Магеллановом Облаке.

Гипергиганты — наиболее массивные среди звёзд: их массы превышают $25-30 M_\odot$ и доходят по $100-150 M_\odot$. При массах более $100 M_\odot$ они попадают на границу неустойчивости, что приводит к крупномасштабным колебаниям атмосферы, чрезмерной потере массы и формированию обширных околосвёздных оболочек. Светимость гипергигантов близка к модифицированному эдингтоновскому пределу. Для этих звёзд характерна переменность блеска и очень интенсивный звёздный ветер. Например, у звезды 6 Cas при скорости ветра около 200 км/с поток газа достигает $10^{-6} M_\odot/\text{год}$. А у звезды IRC+10420 скорость ветра 50 км/с

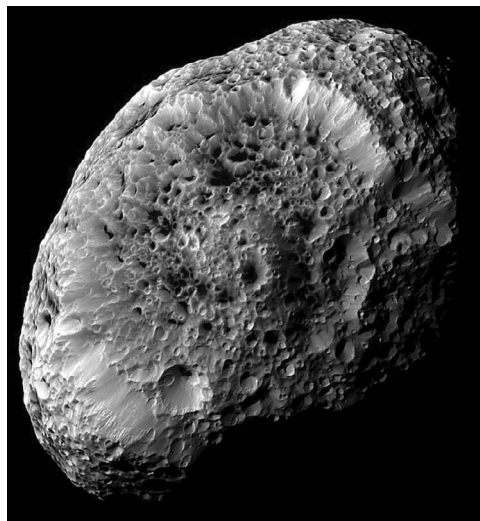
при потоке $5 \cdot 10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$. Столь плотный и непрозрачный звёздный ветер может приводить к появлению холодной «псевдотосферы»; при этом довольно горячая звезда может выглядеть как красный сверхгигант вплоть до спектрального класса М. Такие звезды в шутку называют «самозванцами диаграммы ГР». Их оптическая переменность, вероятно, в основном вызвана неоднородностью звёздного ветра. В случае особо сильного потока вещества звезда окружает себя почти неподвижной и непрозрачной газовой-пылевой оболочкой, как у звезды Эта Киля (η Car).

Полное время жизни столь массивных звёзд не превышает 3–5 млн лет. Те звёзды, которые мы видим на стадии гипергиганта, уже покинули главную последовательность; до конца эволюции им остаётся порядка 10^5 лет, а затем они должны взорваться как сверхновые. Согласно теории, после этого от них остаётся только чёрная дыра.

ГИПЕРИОН (S VII, Hyperion) — естественный спутник Сатурна. Был открыт 16 сентября 1848 г. одновременно американскими астрономами У. К. Бондом, Дж. Ф. Бондом и английским астрономом У. Ласселлем. Этот спутник обладает многими уникальными чертами.

Большая полуось орбиты Гипериона 1481 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 21,276 сут. Эксцентриситет орбиты 0,123. Наклонение орбиты к экватору планеты $0,43^\circ$. Размеры $360 \times 266 \times 205$ км. Масса $0,562 \cdot 10^{19}$ кг. Средняя плотность $0,54 \text{ г/см}^3$. Столь низкая средняя плотность согласуется и с удивительным внешним видом спутника: его поверхность ноздреватая, как у морской губки. Альbedo 0,3. Видимый блеск $14,4^m$, максимальное угловое расстояние от планеты $3' 57''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности 93 К. Ускорение свободного падения у поверхности около 2 см/с^2 . Вторая космическая скорость у поверхности 45–99 м/с (зависит от места на поверхности).

Это единственный из регулярных спутников в Солнечной системе, чьё суточное вращение не синхронизовано с орбиталь-



Гиперион. Фото: «Кассини» (NASA)

ным. Более того, у него хаотическое суточное вращение: направление оси вращения меняется непредсказуемо. Причина, вероятно, в том, что он имеет весьма неправильную форму и заметный эксцентриситет орбиты, что усложняет его приливное взаимодействие с Сатурном. Кроме того, заметное влияние оказывает на него Титан, поскольку между орбитальными периодами Титана и Гипериона существует резонанс 3:4.

ГИПЕРНОВАЯ (англ. *hypernova*) — наиболее грандиозный тип взрыва массивной звезды, знаменующий рождение чёрной дыры и ответственный за космические γ -всплески. Существование гиперновых пока остаётся гипотезой. Оптические вспышки, связанные с γ -всплесками, выглядят значительно ярче обычных сверхновых. Поэтому либо энергия таких взрывов существенно превосходит энергию сверхновых, либо она излучается не изотропно, а направленно, в виде узкого луча, что не характерно для обычных сверхновых.

ГИПЕРСКОРОСТНЫЕ ЗВЁЗДЫ (hypervelocity stars, HVS) — звёзды, которые из-за взаимодействия с массивной центральной чёрной дырой выбрасываются из центра галактики со скоростью порядка 1–2 тыс. км/с. Впервые об их существовании было упомянуто в 1988 г. Компьютерные модели показывают, что сверхскоростные звёзды должны быть естественным результатом слиш-

ком тесного прохода двойной звезды близ сверхмассивной чёрной дыры. Именно такая чёрная дыра расположена в центре нашей Галактики. Когда двойная звезда оказывается вблизи центральной чёрной дыры, мощная гравитация последней может разорвать двойную систему: чёрная дыра «проглатывает» одну из звёзд, а вторую выбрасывает с огромной скоростью наружу.

Первая гиперскоростная звезда была открыта в 2005 г. с помощью Многозеркального телескопа MMT в Аризоне. Это звезда SDSS J090745.0+024507, удалённая от нас на 71 кпк и летящая сквозь гало Галактики со скоростью 850 км/с; это вдвое больше скорости, минимально необходимой для вылета из Галактики. Затем европейские астрономы открыли ещё две такие звезды, одна из которых (SDSS J091301.00+305120.0), возможно, вылетела из соседней галактики Большое Магелланово Облако. Следом были открыты ещё два таких же объекта: звезда SDSS J091301.0+305120 удалена от нас на 74 кпк и движется от центра Галактики со скоростью около 556 км/с, а звезда SDSS J091759.5+672238 удалена на 55 кпк и летит со скоростью 639 км/с. Всего к концу 2011 г. было обнаружено 10 гиперскоростных звёзд, из них 9 — по результатам обзора SDSS.

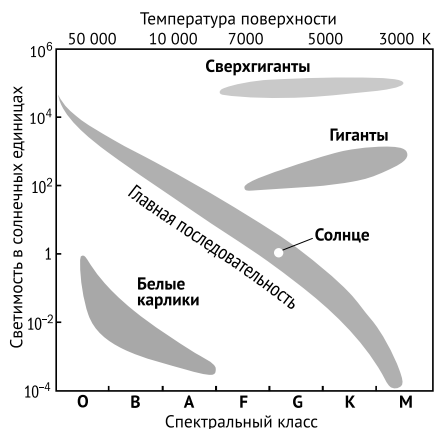
По оценкам теоретиков, гиперскоростные звёзды должны выбрасываться из центра Галактики в среднем раз в 100 тыс. лет. Постоянно в объёме Галактики должно быть около 1000 гиперскоростных звёзд, однако обнаружить их на фоне 100 млрд «медленных» звёзд Галактики не так просто.

ГИППАРКОС (HIPPARCOS — High Precision PARallax Collecting Satellite) — астрометрический искусственный спутник Земли, созданный Европейским космическим агентством, работавший на орбите в 1989–1993 гг. На его борту был телескоп Шмидта диаметром 29 см, измерявший положения и блеск звёзд. По результатам измерений создан каталог HIPPARCOS, включающий координаты, геометрические параллаксы, собственные движения и блеск около 118 220 звёзд. Погрешность данных каталога около 0,001".

ГЛАВНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ — основная группировка звёзд в виде диаго-

нальной полосы на диаграмме «спектральный класс — светимость» или «температура поверхности — светимость» (диаграмма Герцшпрунга—Рассела). Проходит от ярких и горячих звёзд в верхнем левом углу диаграммы к тусклым и относительно холодным звёздам в её нижнем правом углу. Вдоль этой последовательности концентрируется большинство звёзд, поскольку соответствующие ей физические условия отвечают самому длительному этапу их эволюции, когда в ядре звезды протекают термоядерные реакции с участием водорода (в основном реакция синтеза гелия из водорода). Типичной звездой главной последовательности является Солнце. Положение звёзд на диаграмме зависит от их массы, химического состава и процессов выделения энергии в недрах. Звёзды на главной последовательности имеют одинаковый источник энергии — термоядерное горение водорода, поэтому их светимость и температура (т. е. положение на главной последовательности) определяются главным образом массой: самые массивные ($M \approx 50\text{--}100 M_{\odot}$) располагаются в верхней части главной последовательности, а с продвижением вдоль неё вниз массы звёзд убывают до $M \approx 0,08 M_{\odot}$. Для большинства звёзд главной последовательности выполняется соотношение между массой, радиусом и светимостью: $L \propto M^4 \propto R^5$. Но у звёзд малой и большой массы $L \propto M^3$, а у самых массивных $L \propto M$.

На главную последовательность звёзды попадают после стадии гравитационного сжатия, приводящего к появлению в недрах звезды термоядерного источника энергии. Начало стадии главной последовательности — момент, когда потери энергии химически однородной звезды на излучение полностью компенсируются выделением энергии в термоядерных реакциях. Звёзды в этот момент находятся на левой («горячей») границе главной последовательности, именуемой начальной главной последовательностью или главной последовательностью нулевого возраста. Окончание стадии главной последовательности соответствует образованию у звезды однородного гелиевого ядра, после чего звезда уходит с главной последовательности и становится гигантом.



Основные классы светимости звёзд на диаграмме Герцшпрунга – Рассела

Разброс звёзд на наблюдаемой главной последовательности обусловлен, кроме эффектов эволюции, различиями в начальном химическом составе, вращением и возможной двойственностью звезды. У звёзд с $M \leq 0,08 M_{\odot}$ время гравитационного сжатия превышает время жизни Галактики, поэтому они не достигли главной последовательности и находятся несколько правее неё. У звёзд с массами $M \leq 0,8 M_{\odot}$ стадия термоядерного горения водорода столь продолжительна, что за время жизни Галактики они не успели покинуть главную последовательность. У более массивных звёзд время жизни на главной последовательности составляет $\approx 90\%$ всего времени их эволюции. Именно этим объясняется преимущественная концентрация звёзд в области главной последовательности.

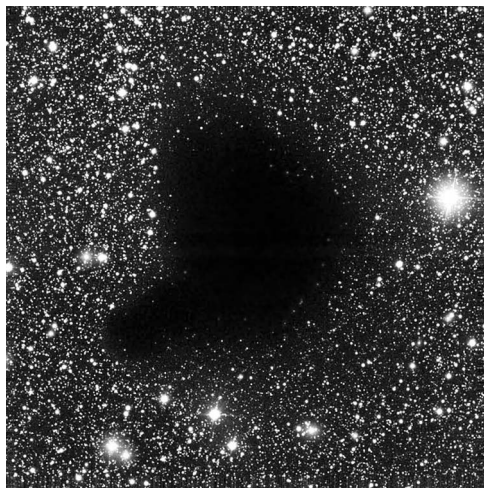
Анализ главной последовательности особенно важен при исследовании звёздных групп и скоплений, так как по мере увеличения их возраста точка, в которой главная последовательность скопления начинает заметно отклоняться от начальной главной последовательности, смещается в область меньших светимостей и температур поверхности звёзд; положение этой точки поворота может служить индикатором возраста звёздного скопления.

По двумерной спектральной классификации звёздам главной последовательности приписывается класс светимости V, но для некоторых спектральных классов звёзд

классов светимости IV и III также находятся в полосе главной последовательности.

ГЛОБУЛЫ — небольшие непрозрачные в оптическом диапазоне спектра газово-пылевые межзвёздные облака, которые на более светлом фоне Млечного Пути выглядят как тёмные бесформенные пятна, поскольку присутствующая в них пыль полностью поглощает свет лежащих за ними звёзд и ярких туманностей. Глобулы небольшого углового размера обычно видны на фоне светлых туманностей. Близкая глобула — Угольный Мешок — видна невооружённым глазом на фоне ярких звёздных облаков Млечного Пути. Состоят из молекулярного водорода (H_2) и гелия с примесью молекул других газов и твёрдых пылинок при температуре 10–50 K. Являются уплотнениями в протяжённых туманностях (обычно в зонах HII). Границы глобул всегда резко очерчены, чаще всего светящимися ободками (рядами). Наиболее массивные глобулы могут быть местами зарождения звёзд.

Размеры типичных глобул — от долей парсека до нескольких парсеков. Плотность вещества в них можно оценить, предполагая, что давление более холодного газа в глобуле уравновешено давлением окружающего горячего газа. Концентрация частиц в типичных глобулах $\sim 10^4$ – 10^6 см $^{-3}$. Массы глобул ~ 1 –100 $M_{\odot}$. Глобулы часто располагаются в вершинах тёмных конусов («слоновых хоботов»), обращённых, как правило,



Глобула в созвездии Змееносец

остриём к центру материнской туманности. Накопление вещества в «слоновых хоботах» может быть следствием магнитно-гравитационной неустойчивости (неустойчивость Рэлея – Тейлора). Газ медленно, с характерными скоростями порядка долей км/с, стекает к центру туманности, при этом максимальная плотность достигается в вершине конуса, т. е. в глобуле. Если в окружающей туманности имеются горячие звёзды, ионизующие газ, то внешнее давление горячего газа сжимает глобулу. Конденсация вещества в глобулах при дополнительном внешнем сжатии может привести к образованию в них молодых звёзд. Действительно, в некоторых глобулах наблюдаются молодые звёзды типа Т Тельца и объекты Хербига – Аро, которые принято считать индикаторами областей, где происходит звёздообразование.

ГЛЮОН – квант поля ядерных сил; частица, передающая сильное ядерное взаимодействие.

ГОД, АНОМАЛИСТИЧЕСКИЙ – время, необходимое Земле для одного оборота вокруг Солнца, который начинается и заканчивается в точке перигелия земной орбиты; равен 365,2596 сут.

ГОД, БЕССЕЛЕВ (англ. *Besselian year*) – период одного полного оборота по прямому восхождению среднего солнца, определённый Саймоном Ньюкомом (1835–1909). Начало бесселева года традиционно использовалось при указании начальной эпохи, что отмечается префиксом «В» и суффиксом «.0», например, В1950.0. Начиная с 1984 г. стандартные эпохи связывают с началом не бесселева, а юлианского года, например J2000,0.

ГОД, ВИСОКОСНЫЙ – год, содержащий 366 солнечных суток; устанавливается путём введения даты «29 февраля» в те года, номера которых делятся на 4 (например, 1996, 2004, 2008 и 2012 гг. были високосными). Если же данным годом заканчивается столетие (например, 1800, 1900, 2000 гг.), то високосным он считается, лишь если делится на 400 (так, 2000 год был високосным). Название «високосный» связано с тем, что в Древнем Риме в качестве добавочного 366-го дня года дублировался 6-й день мартовских календ (за 6 дней до 1 марта), называвшийся *bi-sextus*, т. е. второй шестой. Остальные ка-

лендарные годы, содержащие по 365 дней, называют простыми или невисокосными.

ГОД, ГАЛАКТИЧЕСКИЙ – период обращения Солнца вокруг центра Галактики. Эта мера времени обычно употребляется в научно-популярной, а не в научной литературе, поскольку значение её пока известно неточно. Полагая, что Солнце движется по круговой орбите на расстоянии 8 кпк от центра Галактики со скоростью 220 км/с, формально получают продолжительность галактического года 223 млн лет. Но нужно помнить, что исходные величины измерены пока с невысокой точностью, поэтому ошибка в длине галактического года составляет не менее 10%.

ГОД, ДРАКОНИЧЕСКИЙ – интервал времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через восходящий узел лунной орбиты на эклиптике; равен 346,620 сут.

ГОД, ЗВЁЗДНЫЙ – период обращения Земли вокруг Солнца относительно звёзд, или промежутки времени, за который для земного наблюдателя Солнце возвращается в ту же точку неба относительно звёзд. Звёздный год равен 365,2564 средним солнечным суткам, т. е. на 20 мин 04 с длиннее, чем обычный тропический год. См. *Год, сидерический*.

ГОД, КАЛЕНДАРНЫЙ – интервал времени, близкий к тропическому году, но из соображений удобства гражданского календаря содержащий целое число суток. В юлианском и григорианском календарях используют два типа календарного года – простой (365 сут) и високосный (366 сут), которые чередуются по определённым правилам. При этом средний юлианский год содержит ровно 365,25 сут, а средний григорианский год – ровно 365,2425 сут.

ГОД, ЛУННЫЙ – 12 лунных синодических месяцев, в среднем 354,367 сут.

ГОД, СИДЕРИЧЕСКИЙ, или **звёздный**, – время, необходимое Земле для одного оборота вокруг Солнца, который начинается и заканчивается на линии, проведенной из центра Солнца в фиксированном направлении на небесной сфере; равен 365,2564 сут.

ГОД, ТРОПИЧЕСКИЙ – период между двумя последовательными прохождениями

Солнца через текущую точку весеннего равноденствия; равен 365,242190 сут. Тропический год длиннее бесселева года на $0,148^{\circ} \times T$, где T — число столетий с В1900.0. Основой календаря служит именно тропический год. **ГОД, ЮЛИАНСКИЙ** — период в 365,25 суток по 86 400 секунд СИ, служащий основой юлианского календаря. Обозначается верхним символом «а» справа от числа (например, 50^а).

ГОДИЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС — угол, под которым от космического объекта, расположенного вдали от Солнечной системы, видна большая полуось земной орбиты. Земной наблюдатель может измерить его, регистрируя в течение года видимое положение космического объекта на фоне значительно более далёких объектов. Из-за годичного смещения Земли по орбите положение наблюдаемого объекта описывает на небе эллипс. Измерив параллакс (p) и зная размер земной орбиты (a), легко вычислить расстояние до объекта: $D = a / \text{tg } p$. Годичные параллаксы всех объектов, начиная от ближайших звёзд и далее, очень малы — меньше 1". Выраженные в радианах (1 рад $\approx 206\,265''$), они практически равны значениям их тангенсов, поэтому с высокой точностью можно полагать $D = a/p = 1 \text{ а. е.} / p$.

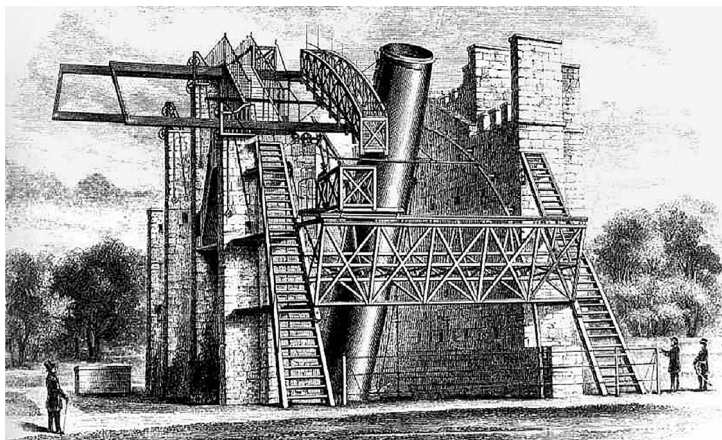
Годичный параллакс — удобная мера расстояния и основание для введения специальной единицы расстояния — парсек (пк). При $p = 1''$ расстояние $D = 1 \text{ ПК} = 206\,265 \text{ а. е.}$ **ГОЛУБЫЕ ЗВЁЗДЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЕТВИ** — звёзды населения II типа, располагающиеся в галактическом гало, в особенности — в шаровых скоплениях. Это звёзды на поздней стадии красного гиганта, в ядрах которых горит гелий. Голубые звёзды горизонтальной ветви относятся к спектральным классам В3–А0 (т. е. их цвет голубовато-белый). В спектре видны чёткие сильные линии водорода, имеется резкий балмеровский скачок и слабые линии других элементов. Голубые звёзды горизонтальной ветви диаграммы Герцшпрунга — Рассела, слева (т. е. со стороны более высоких температур) от голубой границы области переменных звёзд типа RR Лиры (RR Lyr). Эти звёзды очень яркие, и их легко обнаружить. Как

правило, наиболее слабые голубые звёзды наблюдаемые в гало, оказываются голубыми звёздами горизонтальной ветви.

ГОЛУБЫЕ БРОДЯГИ — горячие яркие звёзды в шаровых скоплениях (иногда и в рассеянных скоплениях), лежащие на продолжении главной последовательности скопления на несколько звёздных величин выше точки её поворота. Для объяснения, почему эти звёзды до сих пор не проэволюционировали до фазы красного гиганта, разработано несколько теорий. В них рассматривается перенос массы между компонентами двойных систем или слияние компонентов. Голубые бродяги могут формироваться после столкновения звёзд в перенаселённых внутренних частях шаровых скоплений.

ГОЛУБЬ — южное созвездие, бедное интересными объектами. Введено И. Байером в 1603 г. Известно также как «голубь Ноя». Лежит к юго-западу от Большого Пса, в контакте с созвездиями Корабля Арго (Корма, Киль, Паруса), который иногда рассматривают как Ноев Ковчег.

ГОНЧИЕ ПСЫ, или **Гончие Собаки**, — северное созвездие, расположенное к юго-востоку от Большой Медведицы, прямо под ручкой Ковша. Название созвездия дал Ян Гевелий в 1690 г. Позже англичане пытались переименовать Гончих Псов в Сердце Карла в честь казнённого английского короля Карла I. Под этим именем (Cor Caroli Regis Martyris) оно даже появилось на некоторых картах и звёздных глобусах, но не привилось, хотя за звездой α Гончих Псов закрепилось имя «Сердце Карла» (Cor Caroli). Эту двойную звезду часто наблюдают в телескоп любители астрономии. А звезда γ CVn, которую великий итальянский астроном Анджело Секки (1818–1878) называл «La Superba» за её удивительный спектр, является одной из наиболее красных среди доступных невооружённому глазу. Она относится к «углеродным» звездам, в спектре которых почти нет голубых и ультрафиолетовых лучей из-за их сильного поглощения молекулами углерода C_3 . Широко известна также спиральная галактика 9-й звёздной величины Водоворот (M51), одна из ближайших к нам (расстояние 25 млн св. лет). Она была первой туманностью, у которой удалось



Телескоп-рефлектор диаметром 182 см с фокусным расстоянием 17 м, построенный в 1845 г. ирландским астрономом Уильямом Парсонсом (третий лорд Росс) в его родовом поместье Бёр-Касл. Этот телескоп впервые показал структуру галактик.

выявить спиральную структуру: её заметил и зарисовал ирландский астроном Уильям Парсонс (лорд Росс) в 1845 г., используя созданный им гигантский телескоп диаметром около 2 м.

ГОРИЗОНТ (греч. *horizon*, род. п. *horizontos* — ограничивающий) — в просторечии замкнутая вокруг наблюдателя линия, вдоль которой «земля встречается с небом». В астрономии различают математический (истинный) горизонт и видимый горизонт.

Видимый горизонт — наблюдаемая граница между небом и поверхностью Земли, включая эффекты высоты наблюдателя и наличие деталей рельефа, деревьев, строений и т. п. См. также *Понижение горизонта*.

Математический, или **истинный**, горизонт — это большой круг небесной сферы, равноудалённый от зенита и надира наблюдателя. Плоскость математического горизонта перпендикулярна линии отвеса и служит основной плоскостью в горизонтальной системе небесных координат, в которой направление на светило задаётся азимутом (отсчитывается от точки юга к западу) и высотой или зенитным расстоянием. Математический горизонт редко совпадает с видимым горизонтом. Понятие математического горизонта используется при расчётах моментов восхода и захода небесных светил. В силу несовпадения математического и видимого горизонтов предвычисленные моменты могут несколько отличаться от реально наблюдаемых в конкретных пунктах.

ГОРИЗОНТ ВИДИМОСТИ ВО ВСЕЛЕННОЙ — граница, отделяющая область пространства,

которую в данный момент может видеть наблюдатель, от области, принципиально для него ненаблюдаемой. Существование горизонта связано с расширением Вселенной. Согласно космологической модели Фридмана, расширение Вселенной началось от сингулярного состояния около 14 млрд лет назад. За время $t_0 \approx 14 \cdot 10^9$ лет свет успевает пройти в расширяющейся Вселенной конечное расстояние $l \approx ct_0$, т. е. около $14 \cdot 10^9$ св. лет. Поэтому каждый наблюдатель в момент t_0 после начала расширения может видеть только область, ограниченную сферой, имеющей в этот момент радиус l . Объекты за этой границей, являющейся горизонтом наблюдателя, принципиально ненаблюдаемы в момент t_0 : свет от них не успел дойти до наблюдателя, даже если вышел в момент начала расширения Вселенной. Очевидно, что у каждого наблюдателя в конкретном месте Вселенной свой горизонт (подобно тому, как каждый наблюдатель на земном шаре имеет свой горизонт).

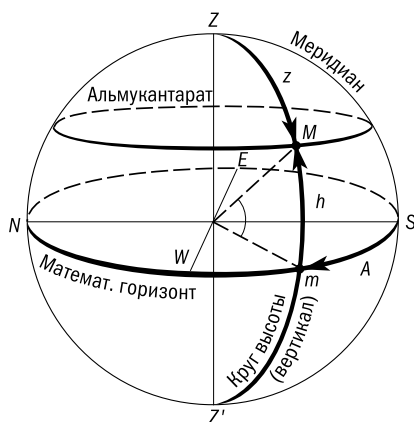
В ранней Вселенной при большой плотности вещества фотоны не могли свободно распространяться из-за поглощения и рассеяния, поэтому наблюдатель может зафиксировать в неискажённом виде лишь то излучение, которое возникло в эпоху, когда Вселенная стала практически прозрачной для излучения (но не раньше). Эта эпоха определяется моментом рекомбинации водорода и соответствует времени $t_{\text{рек}} \approx 400\,000$ лет после начала расширения и плотности вещества $r \approx 10^{-20}$ г/см³. Однако расстояния до горизонта и до пределов,

определяемых моментом рекомбинации, практически совпадают, так как $t_0 \approx t_0 - t_{\text{рек}}$.

Наблюдаемое микроволновое фоновое излучение (реликтовое излучение) приходит с расстояний, определяемых рекомбинацией, т. е. практически с расстояний до горизонта видимости во Вселенной. По мере того, как к наблюдателю доходит свет от более далёких областей Вселенной, горизонт расширяется. Чем ближе к горизонту расположен источник излучения, тем больше для него значение красного смещения z . На самом горизонте $z \rightarrow \infty$. Таким образом, в доступном для наблюдений объёме Вселенной находится хотя и очень большое, но конечное число галактик и звёзд.

ГОРИЗОНТ СОБЫТИЙ — замкнутая поверхность, ограничивающая область вокруг чёрной дыры, в пределах которой силы гравитации столь велики, что никакие сигналы (в виде фотонов или частиц) не могут выйти из-под неё и достичь внешнего наблюдателя. Фактически горизонт событий — это граница области пространства-времени, из которой информация не может достичь внешнего наблюдателя из-за конечности скорости света, которую не может превысить скорость распространения физического сигнала. Горизонт событий может возникнуть в ходе гравитационного коллапса звезды на поздних стадиях эволюции. При этом образование горизонта событий для наблюдателя означает появление чёрной дыры. В этом случае горизонт событий можно назвать поверхностью чёрной дыры, т. е. совокупностью тех мест в пространстве-времени, где, с точки зрения удалённого наблюдателя, время остановилось. После пересечения этой поверхности падающим снаружи телом или квантом излучения обратного пути для них уже нет.

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ — система небесных координат, задающая положение светила (M) через его азимут (A) и угловую высоту (h) над горизонтом. В астрономии азимут традиционно отсчитывают от небесного меридиана (т. е. от направления на юг) до круга высоты (вертикала), проходящего через светило. В геодезии азимут отсчитывают от направления на север. В любом случае направление воз-



Горизонтальная система координат. Z — зенит, Z' — надир, m — вертикальная проекция светила (M) на горизонт, A — азимут, h — высота, z — зенитное расстояние

растания азимута одинаковое: север — восток — юг — запад ($N-E-S-W$). Астрономический азимут выражается в градусах дуги от 0° до 360° , но иногда астрономы определяют западный азимут и восточный азимут, отсчитывая их от точки юга S соответственно к западу или к востоку от 0° до 180° . Геодезисты измеряют азимут от точки севера N в обе стороны, от 0° до 180° . В последние годы астрономы также стали указывать геодезический азимут. Часто вместо высоты h определяют её дополнение до 90° , называемое зенитным расстоянием (z) светила.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ ПАРАЛЛАКС — см. *Суточный параллакс*.

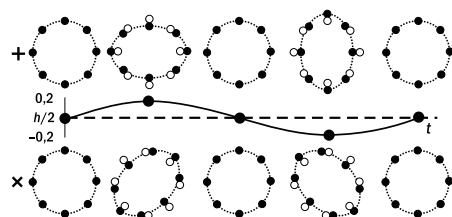
ГОРЯЧИЕ ЮПИТЕРЫ — экзопланеты-гиганты, расположенные чрезвычайно близко к своей звезде и поэтому имеющие высокую температуру поверхности, обычно более 1000 K . Термин «горячий юпитер» возник в самом конце XX в. в связи с тем, что среди экзопланет, открытых первыми после 1995 г., большинство оказалось гигантами типа Юпитера, но, в отличие от него, обращающимися по короткопериодическим орбитам настолько близко к родительской звезде, что верхний слой их атмосфер разогрет до нескольких тысяч кельвинов. То, что первыми были открыты именно такие экзопланеты, закономерно: применявшийся для их поиска доплеровский метод, регистрирующий периодические изменения лучевой скорости звезды, прежде всего реаги-

рует на тесное соседство звезды с массивной планетой. Но объяснить происхождение горячих юпитеров оказалось непросто. В рамках современной космогонии планета-гигант, в основном состоящая из лёгких элементов (водорода, гелия), может сформироваться лишь вдали от звезды, где летучие вещества (прежде всего вода) остаются в твёрдом состоянии. Большинство учёных сейчас сходится в том, что планеты-гиганты формируются вдали от звезды, но позже некоторые из них, взаимодействуя с массивным протопланетным диском, мигрируют ближе к звезде и становятся горячими.

В 2009 г. была открыта планета WASP-18b, имеющая массу 10 масс Юпитера и обращающаяся по почти круговой орбите на расстоянии 0,02 а. е. от своей звезды. Орбитальный период этой планеты составляет всего 23 часа! Учитывая, что звезда WASP-18 (HD 10069) имеет спектральный класс F9 и обладает большей светимостью, чем Солнце, температура поверхности планеты должна достигать 3800 К: это уже не просто горячий, а раскалённый юпитер. Из-за близости к звезде и своей большой массы планета вызывает сильные приливные возмущения на поверхности звезды, которые, в свою очередь, тормозят планету и в будущем приведут к её падению на звезду.

ГРАВИТАЦИОННАЯ ВОЛНА — «рябь» пространства-времени, бегущая со скоростью света. Гравитационная волна возбуждается при ускоренном движении массивных тел и может быть зарегистрирована путём наблюдения периодических приливных деформаций сплошного тела или системы свободных тел. Существование гравитационных волн было предсказано в рамках общей теории относительности А. Эйнштейна.

Существование гравитационных волн впервые косвенно подтвердили радиоастрономы Р. Халс и Дж. Тейлор, наблюдая в 1974–1990 гг. за двойной нейтронной звездой, один из компонентов которой — радиопульсар PSR B1913+16 (см. *Двойной пульсар Халса — Тейлора*). Прямая регистрация гравитационных волн с помощью лазерного гравитационно-волнового детектора со свободно подвешенными зеркалами LIGO впервые состоялась в 2015 г.



Периодическое смещение свободных масс в поле относительных ускорений гравитационной волны. Показаны две независимые поляризации волн: плюсообразная (+) и крестообразная (x); h — амплитуда, t — время.

К сожалению, в физике термин «гравитационная волна» используется также и в совершенно ином смысле. Речь идёт о поверхностных волнах на воде (или иной жидкости на поверхности небесного тела). Волнообразные колебания на поверхности жидкости возникают под действием двух сил — силы тяжести и силы поверхностного натяжения. При малой длине волн — менее 1–2 см в случае воды — преобладающей является сила поверхностного натяжения, а сами волны называются волнами поверхностного натяжения или капиллярными волнами. Для волн большей длины преобладающей является сила тяжести, такие волны издавна принято называть гравитационными. В атмосфере планеты также возбуждаются подобные волны, и их тоже называют гравитационными. Чтобы не путать волны пространства-времени с волнами в жидкости и газе, последние предлагается называть «тяжёлыми волнами», однако этот термин пока используется не всеми специалистами: некоторые геофизики продолжают называть волны в атмосфере и океане «гравитационными волнами». В английском языке с этой неоднозначностью успешно справились: тяжёлые волны в жидкостях и газах называют *gravity waves*, а волны пространства-времени — *gravitational waves*.

ГРАВИТАЦИОННАЯ ЛИНЗА — любое массивное тело (планета, звезда) или система тел (галактика, скопление галактик), искривляющая своим гравитационным полем направление распространения излучения, подобно тому как обычная стеклянная линза искривляет световой луч. Эффект гравитационной линзы как астрономическое явление состоит в том, что изображение уда-

лётного источника излучения (например, звезды, галактики или квазара) оказывается искажённым из-за того, что луч света между источником и наблюдателем проходит вблизи притягивающего тела. Если роль гравитационной линзы играет галактика или скопление галактик, то явление называют эффектом гравитационного линзирования, если притягивающим телом служит отдельная звезда, то говорят о гравитационном микролинзировании.

Эффект гравитационной линзы был предсказан А. Эйнштейном, который в 1915 г. в рамках общей теории относительности впервые правильно вычислил угол отклонения луча света в гравитационном поле. Во время полного солнечного затмения 29 мая 1919 г. английские астрономы измерили отклонение света звёзд, проходящего вблизи поверхности Солнца: смещение изображений звёзд составило $1,75''$ в полном согласии с предсказанием Эйнштейна. Английский физик О. Лодж в 1919 г., по-видимому, первым использовал термин «линза», говоря об отклонении электромагнитного луча гравитацией. Петербургский физик Орест Хвольсон в 1924 г. опубликовал в журнале «*Astronomische Nachrichten*» заметку о том, что луч света далёкой звезды может быть отклонён притяжением другой звезды-линзы, в результате чего возникнет второе изображение далёкой звезды; если обе звезды и наблюдатель находятся на одной прямой, изображение будет иметь форму кольца. Эйнштейн в 1936 г. опубликовал в журнале «*Science*» заметку, в которой по просьбе чешского инженера Р. Мандла рассмотрел линзоподобное действие одной звезды на другую и также указал на возможность кольцеобразного изображения. Ни Хвольсон, ни Эйнштейн не верили в возможность экспериментального обнаружения этого эффекта в случае обычных звёзд (т. е. гравитационного микролинзирования).

Однако в 1937 г. американский астроном швейцарского происхождения Фриц Цвикки пришёл к выводу, что эффект гравитационной фокусировки света можно наблюдать в том случае, если линзой является галактика. В 1979 г. английские астрономы Д. Волш и др. впервые обнаружили «двойной квазар»

QSO 0957+16 A,B ($z = 1,4$; угловое расстояние между компонентами около $6''$). Когда выяснилось, что оба квазара изменяют блеск в унисон, стало понятно, что в действительности это два изображения одного квазара, возникшие благодаря эффекту гравитационной линзы. Вскоре нашли и саму линзу — далёкую галактику ($z = 0,36$), лежащую между Землёй и квазаром. К концу XX в. было обнаружено несколько десятков гравитационных линз. Некоторые изображения действительно имеют форму ровного или разорванного кольца, которое называют «кольцом Эйнштейна» или «кольцом Хвольсона — Эйнштейна». Позже был обнаружен эффект гравитационной линзы и в пределах нашей Галактики: однократная спонтанная переменность блеска некоторых звёзд указывает на то, что между ними и Землёй проходят массивные и довольно тёмные тела.

ГРАВИТАЦИОННАЯ ФОКУСИРОВКА — свойство гравитирующего объекта отклонять проходящий мимо него поток частиц или излучения, фокусируя набегающий поток позади себя, т. е. действуя наподобие оптической или электромагнитной линзы.

Солнце, двигаясь относительно разреженного межзвёздного газа, фокусирует своим тяготением поток газа, собирая его вдоль луча, направленного в сторону, противоположную движению Солнца. Уплотнение потока газа вдоль луча фокусировки непосредственно наблюдается по его излучению в линии гелия ($\lambda = 58,4$ нм) с помощью приборов, установленных на космических аппаратах.

При прохождении света вблизи гравитирующего тела его траектория искривляется, поскольку свет притягивается к телу. Угол отклонения α выражается (в радианах) формулой $\alpha = 4GM/bc^2$, где b — прицельный параметр, M — масса тяготеющего тела. Для обычных тел этот угол мал, но для звёзд он уже вполне заметен: $\alpha = 1,75''(M/M_\odot)(R_\odot/R)$, где $M_\odot$ и $R_\odot$ — масса и радиус Солнца.

Лучи, вышедшие из светящегося объекта, огибают массивное тело и достигают наблюдателя. Если источник света протяжённый, наблюдатель увидит два сильно астигматичных изображения объекта. Тело, которое своим тяготением искривляет поток

лучей, получило название *гравитационной линзы*. Если гравитирующая масса линзы не сосредоточена в центре объекта, а распределена по некоторому объёму и лучи могут свободно проходить через неё (такой случай реализуется для большей части объёма галактик или скоплений галактик), траектории лучей будут более сложными. Как правило, наблюдатель сможет увидеть три изображения светящегося объекта: третий луч может проходить через центральную часть гравитационной линзы, почти не отклоняясь (см. *Гравитационное линзирование*).

Гравитационная фокусировка света своеобразно проявляется при его распространении в пространстве, заполненном прозрачной тяготеющей материей. Тяготение материи, находящейся в конусе лучей, искривляет их. Чем дальше объект, тем большая масса содержится в конусе лучей и тем сильнее отклонение. В результате начиная с некоторого расстояния во Вселенной более далёкий объект имеет уже не меньшие, а большие угловые размеры, чем такой же объект, расположенный ближе.

ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВАЯ АНТЕННА, или **гравитационная антенна** — прибор, предназначенный для регистрации гравитационных волн, предсказанных в рамках общей теории относительности. См. *Гравитационная волна*, *Гравитационное излучение*, *Лазерная интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория*.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — излучение гравитационных волн телами (массами), движущимися с переменным ускорением. Общая теория относительности (ОТО) — релятивистская теория тяготения, созданная А. Эйнштейном в 1916 г., — предсказывает существование возмущений гравитационного поля, имеющих характер гравитационных волн, распространяющихся в вакууме со скоростью света.

При слабых возмущениях гравитационного поля гравитационное излучение имеет характер поперечных волн с двумя независимыми компонентами, которые определяют два состояния поляризации волны. Гравитационные волны переносят энергию и импульс. Воздействуя на тела, они должны вызывать относительное смещение их

частей (деформацию тел). На этом явлении основаны попытки обнаружения гравитационного излучения. Мощность гравитационного излучения, которая может быть создана в лабораторных условиях генератором гравитационных волн даже при значительной его массе, весьма невелика. Согласно расчётам, при собственных колебаниях кварцевого бруса объёмом в несколько кубических метров с максимальной амплитудой, ограниченной пределом прочности кварца, генерируемая мощность гравитационного излучения составит лишь $\sim 10^{-20}$ Вт.

Существуют две основные причины низкой эффективности преобразования механической энергии в энергию гравитационного излучения. Первая состоит в малости гравитационной постоянной (G), которая входит как в уравнения Эйнштейна, так и в закон всемирного тяготения Ньютона. Невелики и достижимые в экспериментах с макроскопическими телами ускорения (так как при больших ускорениях тела разрушаются). Если же использовать в качестве источников гравитационного излучения микрообъекты — сгустки электронов или ионов, то выигрыш в величине ускорения компенсируется малостью массы, и полная мощность гравитационного излучения опять оказывается весьма незначительной.

Вторая существенная причина неэффективности лабораторных излучателей заключается в том, что, в отличие от электрических зарядов, все гравитационные заряды (массы) имеют один и тот же знак, и величина гравитационной массы строго пропорциональна величине инертной массы (этот факт, положенный в основу ОТО, обычно называют принципом эквивалентности; он многократно проверялся в различных опытах с весьма высокой степенью точности). Поэтому если в системе массивных тел, движущихся с переменным ускорением, центр их инертных масс остаётся на месте, то остаётся на месте и центр гравитационных масс, а значит, гравитационное излучение одной движущейся с переменным ускорением массы будет в значительной степени компенсироваться излучением другой. Такой излучатель (и генерируемое им излучение) называют квадрупольным. Излуче-

ние электромагнитных волн имеет дипольный характер (поскольку существуют электрические заряды разных знаков) и поэтому может быть интенсивным даже при колебаниях небольших зарядов.

Интенсивность гравитационного излучения, как и электромагнитного, пропорциональна квадрату заряда, т. е. в случае гравитации — квадрату массы (M^2), в то время как полный запас энергии (Mc^2) пропорционален массе в первой степени. Это означает, что с ростом массы при тех же амплитудах ускорений эффективность генерации гравитационного излучения увеличивается. Вычисления показывают, что масса $M = 1M_\odot$ при частотах колебаний, по порядку величины соответствующих движению со скоростью света с на орбите радиусом $r = r_g$ (где r_g — гравитационный радиус), в течение короткого времени за счёт гравитационного излучения может потерять несколько процентов своей полной энергии ($M_\odot c^2$). Этот процесс будет носить характер мощного всплеска гравитационного излучения.

Астрофизики предполагают, что во Вселенной существуют естественные импульсные генераторы гравитационного излучения высокой мощности: взрывы сверхновых, столкновения (слияния) нейтронных звёзд и чёрных дыр, несимметричный гравитационный коллапс звёзд. Именно на такие источники и рассчитаны наземные лабораторные гравитационные антенны, работающие или создаваемые более чем в 20 лабораториях разных стран. Обнаружение на Земле всплесков гравитационного излучения от этих источников означает появление нового канала астрофизической информации.

В одной галактике можно ожидать один мощный всплеск гравитационного излучения раз в 20–30 лет: с такой частотой в среднем происходят взрывы сверхновых в одной галактике. Поэтому, чтобы рассчитывать на регистрацию одного всплеска гравитационного излучения в месяц, надо иметь достаточно чувствительные наземные гравитационные антенны, способные обнаружить всплеск в любой из галактик, находящихся на расстоянии до 3 Мпк: в сфере такого радиуса находится около 300 галактик.

Гравитационной антенной может служить любая пара масс — пробных тел (или протяжённое тело) и чувствительное устройство, регистрирующее малые относительные смещения масс или вызывающие их силы. Всплеск гравитационного излучения, распространяющийся со скоростью света, несёт изменение свойств (кривизны) пространства, воздействующее на пробные тела. Амплитуда возмущений гравитационного поля (h), вызванных гравитационным излучением, убывает обратно пропорционально расстоянию (R) от источника (излучателя): $h \sim 1/R$. При расстоянии L между двумя свободными пробными телами вариации этого расстояния, вызванные всплеском гравитационного излучения с амплитудой h , равны $\Delta L \approx Lh$. Оптимистическая оценка для величины h в Солнечной системе в случае взрыва сверхновой на расстоянии 3 Мпк лежит в пределах $(1-3) \cdot 10^{-19}$ (при длительности всплеска $\sim 10^{-4} - 10^{-3}$ с). Более реалистичная оценка для того же случая: $h \sim 10^{-21}$ (выбор оценки зависит от неизвестной степени асимметрии взрыва сверхновой).

Наиболее перспективными считают два типа наземных гравитационных антенн. В первом типе вместо относительного смещения двух пробных масс фиксируют низкочастотные механические колебания массивного цилиндра длиной 1–3 м, вызванные гравитационным излучением. Во втором типе используются две свободные массы, разнесённые на расстояние $\sim 1-10$ км, и лазерный интерферометр для регистрации малых изменений этого расстояния (ΔL) под действием гравитационного излучения.

Оптимистический прогноз требует чувствительности датчиков для первого типа антенн не хуже $\Delta L \approx (2-3) \cdot 10^{-17}$ см, а для второго — не хуже $\Delta L \approx (2-3) \cdot 10^{-14}$ см. Тепловые колебания антенн создают помехи приёму гравитационного излучения. Для уменьшения помех температуру антенн первого типа понижают до $T < 2$ К, увеличивают массу антенны (до нескольких тонн) и её механическую добротность (уменьшают затухание колебаний). После 2005 г. в строй вступило уже несколько антенн разных типов, способных синхронно (в режиме совпадений)

регистрировать возможные редкие всплески гравитационного излучения с $h \sim 1 \cdot 10^{-20}$.

Косвенное подтверждение существования гравитационного излучения было получено при наблюдении пульсара PSR 1913+16, (см. *Двойной пульсар Халса — Тейлора*). Пульсары и в будущем могут оказаться полезным индикатором гравитационного излучения. Точная регистрация моментов прихода радиоимпульсов от нескольких десятков миллисекундных пульсаров (англ. pulsar timing array) в принципе позволяет регистрировать гравитационные волны, проходящие между пульсарами и Землёй. Этот метод особенно чувствителен к низкочастотному гравитационному излучению (10^{-9} – 10^{-6} Гц), источником которого могут быть двойные сверхмассивные чёрные дыры в центрах галактик.

ГРАВИТАЦИОННОЕ КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ — эффект замедления времени в гравитационном поле, предсказываемый общей теорией относительности. В частности, он проявляется в том, что с точки зрения далёкого наблюдателя частота атомных колебаний у поверхности массивных тел уменьшается, что приводит к смещению линий в спектре этого тела в красную сторону. Впервые этот эффект был измерен в спектрах белых карликов. В земных лабораториях он впервые наблюдался в 1960 г. в знаменитом эксперименте Р. Паунда и Г. Ребки (Гарвардский университет), которые для измерений использовали эффект Мёссбауэра.

ГРАВИТАЦИОННОЕ ЛИНЗИРОВАНИЕ — физическое явление, связанное с отклонением лучей света в поле тяжести (см. *Гравитационная фокусировка*). Гравитационные линзы объясняют образование кратных изображений одного и того же астрономического объекта (квазаров, галактик), когда на луч зрения от источника к наблюдателю попадает другая галактика или скопление галактик (собственно линза). В некоторых изображениях происходит усиление яркости оригинального источника. Гравитационная микролинза — явление, при котором тяготеющее тело проходит вблизи луча зрения, вызывая увеличение яркости объекта.

ГРАВИТАЦИОННЫЙ КОЛЛАПС — относительно быстрое сжатие межзвёздного га-

зово-пылевого облака или ядра звезды под действием собственного тяготения. Гравитационный коллапс — важное астрофизическое явление: он участвует как в формировании звёзд, звёздных скоплений и галактик, так и в гибели некоторых из них.

В межзвёздном пространстве множество облаков, состоящих в основном из водорода с плотностью порядка 1000 атомов на 1 см^3 и размером от 10 до 100 св. лет. Их структура, и в частности плотность, непрерывно изменяются под действием взаимных столкновений, нагрева звёздным излучением, давления магнитных полей, и т. п. Когда плотность облака или его части становится настолько большой, что гравитация превосходит газовое давление, облако начинает неудержимо сжиматься — оно коллапсирует. Размер его уменьшается всё быстрее и быстрее, а плотность, соответственно, возрастает. Небольшие начальные неоднородности плотности в процессе коллапса усиливаются; в итоге облако фрагментируется, т. е. распадается на части, каждая из которых продолжает самостоятельное сжатие.

Вообще говоря, при сжатии газа возрастают его температура и давление, а это может препятствовать дальнейшему сжатию. Но пока облако прозрачно для инфракрасного излучения, оно легко остывает, и сжатие не прекращается. Однако по мере нарастания плотности отдельных фрагментов их остывание затрудняется, и возрастающее давление останавливает коллапс — так образуется звезда, а вся совокупность превратившихся в звёзды фрагментов облака образует звёздное скопление.

Коллапс облака в звезду или в звёздное скопление продолжается около миллиона лет — сравнительно мало по космическим масштабам. После этого термоядерные реакции в недрах звезды поддерживают температуру и давление и препятствуют сжатию. В ходе этих реакций лёгкие химические элементы превращаются в более тяжёлые с выделением огромной энергии (подобное происходит при взрыве водородной бомбы). Выделившаяся энергия покидает звезду в виде излучения. Массивные звёзды излучают очень интенсивно и сжигают своё «горючее» всего за несколько десятков мил-

лионов лет. Звёздам малой массы запаса топлива хватает на многие миллиарды лет медленного горения. Но рано или поздно у любой звезды топливо заканчивается, термоядерные реакции в ядре прекращаются, и, лишённая источника тепла, звезда остаётся в полной власти собственной гравитации, неумолимо ведущей её к гибели.

Коллапс звёзд малой массы. Если после потери оболочки остаток звезды имеет массу менее $1,2 M_{\odot}$, то его гравитационный коллапс не заходит слишком далеко: даже лишённая источников тепла сжимающаяся звезда получает новую возможность сопротивляться гравитации. При высокой плотности вещества электроны начинают интенсивно отталкиваться друг от друга; это связано не с их электрическим зарядом, а с их квантово-механическими свойствами. Возникающее при этом давление зависит только от плотности вещества и не зависит от его температуры. Такое свойство электронов физики называют вырождением. У звёзд малой массы давление вырожденного вещества способно сопротивляться гравитации. Сжатие звезды останавливается, когда она становится размером приблизительно с Землю. Такие звёздные остатки называют белыми карликами, поскольку светят они слабо, но имеют сразу после сжатия довольно горячую (белую) поверхность. Температура белого карлика постепенно снижается, и через миллиард лет такой объект уже трудно заметить: он становится холодным невидимым телом.

Коллапс массивных звёзд. Если масса звезды более $1,2 M_{\odot}$, то давление вырожденных электронов не в состоянии сопротивляться гравитации, и звезда не может стать белым карликом. Её неуправляемый коллапс продолжается, пока вещество не достигнет плотности, сравнимой с плотностью атомных ядер ($\sim 10^{14} \text{ г/см}^3$). При этом большая его часть превращается в нейтроны, которые, как и электроны в белом карлике, становятся вырожденными. Давление вырожденного нейтронного вещества может остановить сжатие звезды, если её масса не превышает $\sim 3 M_{\odot}$. Образовавшаяся нейтронная звезда имеет размер около 20 км. Когда стремительное сжатие ней-

тронной звезды резко останавливается, вся кинетическая энергия переходит в тепло и температура поднимается до сотен миллиардов кельвинов: происходит взрыв звезды, её внешние слои с большой скоростью выбрасываются наружу, а светимость возрастает в миллиарды раз. Наблюдается вспышка сверхновой. Примерно через год яркость продуктов взрыва уменьшается, выброшенный газ постепенно охлаждается, перемешивается с межзвёздным газом и в следующие эпохи входит в состав звёзд новых поколений. А возникшая в ходе коллапса нейтронная звезда в первые миллионы лет быстро вращается и наблюдается как переменный излучатель — пульсар.

Если же масса коллапсирующей звезды значительно превышает $3 M_{\odot}$, то сжатие не останавливается на стадии нейтронной звезды, а продолжается до тех пор, пока её радиус не уменьшится до нескольких километров. Тогда сила притяжения на поверхности возрастает настолько, что даже луч света не может покинуть звезду. Сжавшуюся до такой степени звезду называют чёрной дырой. Такой астрономический объект, вообще говоря, можно изучать только теоретически, используя общую теорию относительности Эйнштейна. Расчёты показывают, что сжатие невидимой чёрной дыры продолжается, пока вещество не достигнет бесконечной плотности. Однако поведение вещества вблизи чёрной дыры может немало рассказать о её свойствах, поэтому астрономы активно ищут такие объекты и наблюдают за поведением вещества и излучения вблизи их поверхности.

ГРАВИТАЦИОННЫЙ МАНЁВР (или **пертурбационный манёвр**) — существенное изменение орбиты пролетного космического аппарата (КА) под действием гравитационного поля планеты. Обычно гравитационный манёвр используют для увеличения скорости КА. Чтобы добиться этого, КА при сближении должен двигаться, более или менее, навстречу планете, а удаляться приблизительно в направлении её орбитального движения. В современной космонавтике гравитационный манёвр используется почти при всех межпланетных перелётах: как в режиме ускорения КА (при полётах к внешним

планетам), так и в режиме торможения (например, при полётах к Меркурию).

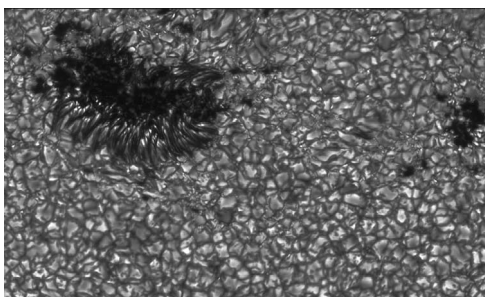
ГРАВИТАЦИЯ (от лат. *gravitas* тяжесть) — явление притяжения всех материальных объектов друг к другу. См. *Тяготение*.

ГРАВИТОН — квант гравитационного поля. Двигается со скоростью света c , следовательно, обладает нулевой массой. Экспериментально пока не обнаружен. Согласно общей теории относительности, возмущения гравитационного поля распространяются в вакууме в виде гравитационных волн. Аналогично квантованию электромагнитного поля, приводящему к понятию кванта этого поля — фотона, квантование поля гравитационных волн приводит к понятию кванта гравитационного поля — гравитона. Сумма энергий и импульсов гравитонов определяет энергию и импульс гравитационной волны. В отличие от фотона, спин которого равен 1, спин гравитона равен 2 (в единицах $\hbar$), что отражает тензорный характер гравитационного взаимодействия.

Гравитоны g могут возникать и исчезать при аннигиляции частиц и античастиц и рождении пар, например, $e^+ + e^- \rightleftharpoons g + g$. Однако вероятность всех процессов рождения гравитонов в 10^{30} – 10^{40} раз меньше вероятности рождения фотонов. Поэтому испускание гравитонов высоких энергий мало даже при катастрофических космических явлениях (гравитационном коллапсе звёзд и др.). Согласно модели горячей Вселенной, гравитоны составляют определённую часть суммарного фонового излучения Вселенной.

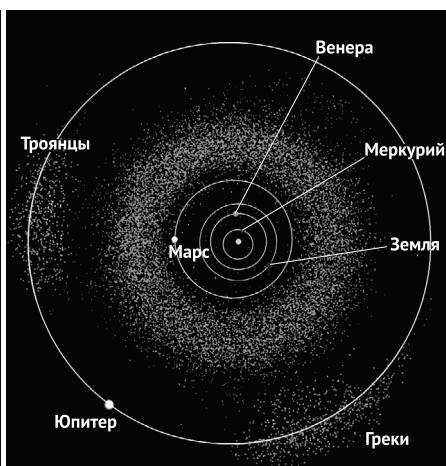
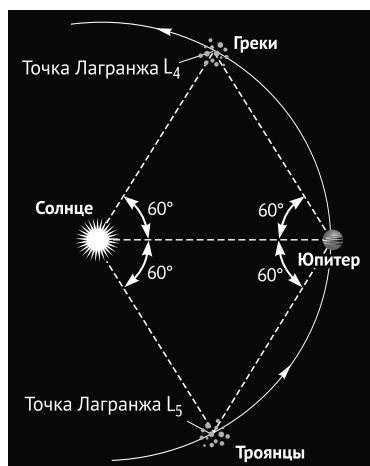
Из-за крайней слабости гравитационного взаимодействия обнаружение гравитонов лежит пока за пределами экспериментальных возможностей.

ГРАНУЛЯЦИЯ на Солнце — мозаичный вид спокойной солнечной фотосферы, вызванный тепловой конвекцией, т. е. всплыванием горячих газовых потоков. Внешне напоминает поверхность пчелиных сот; светлые гранулы размером около 1000 км разделены более тёмными границами, проходящими там, где охлажденный газ опускается вниз. При наблюдении с Земли гранулы имеют угловой размер $1''$ – $2''$, поэтому их можно различить только в хороший телескоп и при благоприятных условиях видимости.



Темное солнечное пятно в окружении невозмущённой поверхности Солнца с грануляцией. Фото: Swedish 1-m Solar Telescope, Institute for Solar Physics, Sweden

ГРЕКИ И ТРОЯНЦЫ — два семейства астероидов, движущихся приблизительно по орбите Юпитера на равном расстоянии от него и от Солнца; наиболее крупные из них носят имена героев Троянской войны. «Греки»



Впереди и позади Юпитера по его орбите летят астероиды, накопившиеся в окрестности точек Лагранжа L_4 и L_5 .

(Одиссей, Аякс, Ахилл, Гектор и др.) опережают Юпитер приблизительно на 60° орбитальной дуги, а «троянки» (Приам, Эней, Патрокл, Трои и др.) отстают от планеты-гиганта на 60° . Такое движение, когда орбитальный период малого тела находится в простом соотношении с периодом крупного возмущающего тела, называют резонансным (см. *Люки Кирквуда*). Греки и троянцы демонстрируют простейший случай резонанса с Юпитером, имеющий соотношение периодов 1:1. При этом они совершают устойчивое либрационное движение («покачивание») в довольно широкой окрестности точек Лагранжа L_4 и L_5 , отстоящих на равное расстояние от Юпитера и Солнца. Часто для краткости оба семейства вместе называют троянцами. Первый из них — астероид 588 Ахилл — был открыт в 1906 г., а к февралю 2020 г. их было известно уже 7642.

Хуже обстоят дела с открытием подобных семейств у других планет: несколько астероидов замечено вблизи лагранжевых точек Сатурна и Нептуна и один или два — в лагранжевых точках Марса. Первый троянский астероид Земли — объект 2010 ТК7 — был найден в 2010 г. на снимках, полученных орбитальным инфракрасным телескопом WISE. Позже его параметры уточнили наземные телескопы. Поиск троянцев Земли осложняется их относительной близостью на небе к Солнцу.

Существуют и спутники-троянки: в системе Сатурна они сопровождают на орбите более крупные спутники этой планеты.

ГРИНВИЧСКАЯ АСТРОНОМИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ находится в Великобритании, в предместье Лондона, в Гринвиче. Основана в 1675 г. под названием «Королевская обсерватория», а её директор носил титул Королевского астронома. Предназначалась главным образом для определения времени и вычисления координат небесных светил, нужных для мореплавания. Меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию (Гринвичский меридиан), был принят в 1884 г. по международному соглашению за начальный для счёта долгот и для исчисления поясного времени. В 1998 г. Гринвичская обсерватория стала научным музеем с планетарием.

ГРУЗИНСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — научно-исследовательское учреждение в составе Государственного университета им. И. Г. Чавчавадзе в г. Тбилиси (Республика Грузия), бывшая Абастуманская астрофизическая обсерватория. Основана в 1932 г. Е. К. Харадзе как первая высокогорная астрономическая обсерватория СССР. Расположена на горе Канобили (Грузия) на высоте 1650 м. Крупнейший инструмент — рефлектор АЗТ-11 диаметром 125 см системы Ричи — Кретьена, установленный в 1977 г.

Д

ДАЛЬНОСТЬ ГОРИЗОНТА — максимальное расстояние от наблюдателя до видимых деталей на ровной поверхности планеты. Возрастает с увеличением высоты точки наблюдения над поверхностью. При высоте 1,7 м составляет 5 км. См. *Понижение горизонта*.

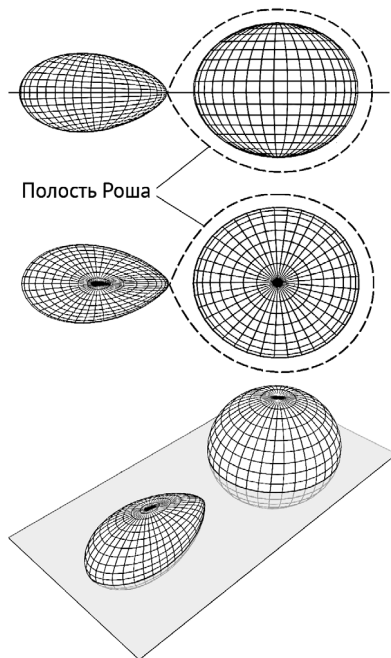
ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА — две звезды, видимые на небе очень близко друг к другу или даже неразличимые по отдельности. Если звёзды действительно расположены рядом в пространстве и связаны силой тяготения, то это физическая двойная. Примером физической пары, хорошо видимой в бинокль или небольшой телескоп, служит яркая звезда γ And (гамма Андромеды), на расстоянии около $10''$ от которой заметен её более слабый спутник. Не менее полновины наблюдаемых в Галактике звёзд являются физическими парами (см. *Двойная система*). А если звёзды находятся на разном расстоянии от нас и видны рядом лишь в результате случайной проекции, то это оптическая двойная.

ДВОЙНАЯ ПЛАНЕТА (double planet) — два тела планетного типа, сравнимых по массе и обращающихся вокруг общего центра масс. Как пример двойной планеты обычно называют систему Земля — Луна, а как пример двойной карликовой планеты — систему Плутон — Харон. Некоторые авторы считают необходимым признаком двойной планеты расположение барицентра системы вне тел планет. Этому требованию не удовлетворяет система Земля — Луна, поскольку её

барицентр находится внутри Земли. Однако с физической точки зрения такое требование вряд ли оправданно, поскольку факт двойственности проявляется прежде всего во взаимном влиянии тел, а выход барицентра из-под поверхности планеты происходит при удалении компонентов друг от друга, уменьшающем их взаимное влияние (именно это и происходит постепенно в системе Земля — Луна). Термин «двойная планета» пока не формализован и в научной литературе официально не принят, хотя используется довольно часто.

ДВОЙНАЯ СИСТЕМА — система из двух звёзд, обращающихся по орбитам вокруг общего центра массы. Такие системы бывают нескольких типов: у «визуальных двойных» оба компонента видны по отдельности. Но даже если компоненты не видны раздельно, о двойственности системы можно узнать по анализу её спектра, по периодическому изменению яркости или по периодическому колебанию положения на небе. Так, спектральные двойные обнаруживают по периодическому доплеровскому смещению линий в спектре: если в нём заметны линии двух компонентов, то они периодически раздваиваются, а если только одного — то колеблются то в голубую, то в красную сторону спектра. Астрометрические двойные проявляют себя периодическими колебаниями в собственном движении видимого компонента. Если Земля лежит в плоскости орбиты двойной звезды, то её компоненты периодически затмевают друг друга, такие системы называют *затменными* и двойными; их обнаруживают по периодическому ослаблению блеска в моменты затмений (см. *Затменные переменные звёзды*).

Более яркую звезду двойной системы обычно называют главным компонентом системы, а менее яркую — вторичным компонентом или спутником. Когда расстояние между звёздами оказывается таким, что лишь ненамного превышает сумму их радиусов, — такие системы называют *тесными*, — может возникнуть перетекание (аккреция) вещества с менее плотной звезды на более плотную. Такие двойные звёзды называют *тесными двойными системами*. Об-



Тесная двойная система в трёх проекциях. Левая звезда уже достигла границы своей полости Роша, поэтому её форма заметно искажена приливным эффектом, а её вещество может перетекать на правый компонент.

мен вещества между звёздами сильно влияет на их эволюцию. Системы из трёх и более звёзд (но не больше нескольких десятков) называют *кратными звёздными системами* или просто *кратными звёздами*.

ДВОЙНОЙ ПУЛЬСАР ХАЛСА—ТЕЙЛОРА — двойная система, оба компонента которой — нейтронные звёзды, обращающиеся с орбитальным периодом 7,75 часа, причём один из компонентов является радиопульсаром PSR B1913+16; другие его обозначения: PSR J1915+1606 и PSR 1913+16. Его английское название: Hulse — Taylor binary pulsar.

Физики из Принстонского университета (США) Russell Alan Hulse и Joseph Hooton Taylor открыли этот объект в 1974 г. и путём длительных наблюдений обнаружили, что его орбитальный период медленно сокращается. Расчёты в рамках общей теории относительности показали, что сокращение периода происходит именно в таком темпе, какой и должен быть, если механическую энергию уносят гравитационные волны. За эту работу Халс и Тейлор награждены Нобелевской премией по физике 1993 г. Эта ра-

бота косвенно подтвердила существование гравитационных волн. Их прямая регистрация с помощью наземных детекторов состоялась в 2015 г.

ДЕВА — крупное зодиакальное созвездие, лежит между Львом и Весами, содержит много интересных звёзд и галактик. В мифах Дева представляет богиню любви и материнства. Ярчайшая звезда (α Vir) — Спика, что на латинском значит «колос». Спика — очень тесная двойная система; в ней с периодом 4 сут вокруг общего центра массы обращаются две горячие голубые звезды; каждая из них раз в десять массивнее Солнца, а светимость каждой в тысячу раз выше солнечной. Эти звёзды находятся так близко друг к другу, что взаимная гравитация и быстрое вращение деформируют их тела: звёзды имеют эллипсоидальную форму, поэтому их орбитальное движение приводит к небольшому колебанию блеска Спики. Звезда Поррима (γ Vir), носящая имя богини пророчеств, — одна из ближайших к нам двойных звёзд: расстояние до неё 39 св. лет. Два её компонента, очень похожие друг на друга, обращаются по вытянутой орбите с эксцентриситетом 0,883 и периодом 169 лет. Блеск каждого из них $3,5^m$, а вместе $2,8^m$. Максимальное расстояние между ними — около $7''$ — наблюдалось в 1921 г., тогда их можно было разделить в любительский телескоп, но к 2005 г. оно уменьшилось до $0,3''$, и звезда стала видна как одиночная. После 2020 г. её вновь можно будет увидеть как двойную в маленький телескоп.

На расстоянии около 55 млн св. лет находится скопление галактик Virgo, содержащее более 3000 галактик, среди которых эллиптические M49, M59, M60, M84, M86, M87 и M89; пересечённая спираль M58, яркая спираль M90, повёрнутая к нам ребром спираль M85 и большая, развёрнутая плашмя спираль M61. Почти с ребра видна галактика Сомбреро (M104), названная так из-за мощной тёмной пылевой полосы, проходящей вдоль экваториальной плоскости. В созвездии Дева расположен ярчайший квазар 3C 273; относительно высокий блеск (12^m) делает его наиболее далёким объектом, доступным любительскому телескопу: расстояние до него около 3 млрд св. лет!

ДЕЛЬФИН — экваториальное созвездие; маленькая группа звёзд, похожая на ромбик из четырёх звёзд с хвостиком из двух звёзд. Лежит между Орлом и Лебедем, к востоку от Стрелы — столь же маленького и симпатичного созвездия. Согласно греческому мифу, это тот дельфин, который помог Посейдону найти нимфу Амфитриту, за что и был им помещён на небо.

ДЕНЕБ — α Лебеда, звезда 1,3 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 3,3 тыс. св. лет. Белый сверхгигант со светимостью в 270 тыс. раз выше солнечной. Вместе с Вегой (в Лире) и Альтаиром (в Орле) образует известный астеризм — Летний треугольник.

ДЕНЬ — светлая часть суток между восходом и заходом верхнего края Солнца. Продолжительность (долгота) дня зависит от географической широты места и меняется с изменением склонения Солнца. За полярными кругами долгота дня может превышать 24 ч (полярный день). Часто астрономические сутки также называют «днём», например говорят, что продолжительность года составляет 365 или 366 дней. Но лучше этого избегать и сутки называть сутками, а светлую часть суток — днём.

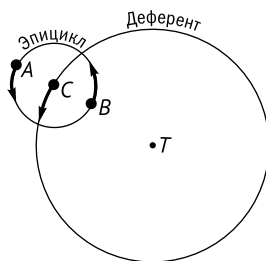
ДЕТЕКТОР — устройство, преобразующее приходящее излучение, поток частиц или других носителей информации в регистрируемый сигнал, доступный для усиления и последующего восприятия человеком или для записи и анализа с помощью компьютера. Примеры: сетчатка глаза, фотографическая эмульсия, фотодиод, болометр, ПЗС-приёмник, радиоприёмник, рентгеновский детектор, детектор нейтрино, детектор гравитационных волн.

ДЕТЕКТОР НЕЙТРИНО — прибор для регистрации элементарных частиц нейтрино. Обычно имеется в виду нейтрино космического происхождения. Работа первого в мире детектора космического (солнечного) нейтрино началась в 1967 г. и продолжалась до 1998 г. под руководством Раймонда (Рэя) Дэвиса [Raymond (Ray) Davis, Jr., 1914–2006]. Мишенью детектора служила ёмкость с 600 т тетрахлорэтилена C_2Cl_4 , установленная на глубине 1,5 км в шахте, ранее созданной для добычи золота (Хоумстейк, шт.

Ю. Дакота, США). Столь значительная толща горных пород необходима для защиты детектора от космических лучей и других видов естественного радиоактивного излучения, на фоне которого было бы практически невозможно зарегистрировать нейтрино. Детектирование нейтрино основано на реакции превращения ^{37}Cl в ^{37}Ar , который радиоактивен и обнаруживается по высокоэнергичному электрону, излучаемому в момент распада ядра. Исчезающе малое количество атомов аргона, рождаемых нейтрино во всей массе рабочего вещества мишени, аккумулировалось путём продувки ёмкости гелием с последующим разделением гелия и аргона путём вымораживания.

Два других детектора нейтрино, SAGE и GALLEX, работают с использованием реакции захвата нейтрино, при которой галлий-71 превращается в радиоактивный германий-71. Удалось зарегистрировать нейтрино и по черенковскому излучению высокоэнергичных электронов в водной среде, которые возникают в результате превращения нейтрино и протона в нейтрон и позитрон, или ускорения электронов за счёт прямого соударения с нейтрино. Сейчас на этом принципе работает несколько детекторов нейтрино — в глубоких шахтах, под водой и даже в глубинах антарктического льда. См. *Нейтринный детектор*.

ДЕФЕРЕНТ (лат. *deferens* несущий, перемещающий) — в геоцентрической системе мира Птолемея окружность, по которой движется центр эпицикла. В простейшем варианте системы Птолемея в центре деферента располагается Земля, вокруг неё по деференту с постоянной скоростью обращается эпицикл, а по нему с постоянной скоростью обращается планета. Плоскости эпицикла и деферента могут не совпадать (см. *Эпицикл*).



Модель Птолемея. Вокруг Земли (Т) обращается центр эпицикла (С), а вокруг него по круговому эпициклу — планета. В области точки А с Земли видно её прямое движение, а в области точки В — попятное.

ДИАГРАММА ГЕРЦШПРУНГА—РАССЕЛА

— диаграмма, показывающая связь между спектральным классом (или цветом, или эффективной температурой поверхности) и светимостью звёзд различного типа. Названа по именам Э. Герцшпрунга, обнаружившего эту зависимость, и Г. Рассела, детально её изучившего. На диаграмме около 90% звёзд лежат в пределах узкой полосы, называемой главной последовательностью и тянущейся из верхнего левого угла диаграммы (высокая температура и высокая светимость) к правому нижнему. Остальные 10% звёзд, лежащих вне главной последовательности, составляют белые карлики, попадающие в левую нижнюю часть диаграммы, и некоторое количество гигантов и сверхгигантов, расположенных в верхней и в правой частях диаграммы. Диаграмма Герцшпрунга—Рассела позволяет делать важные выводы о природе и эволюции звёзд. Профессиональные астрономы чаще называют её диаграммой спектр—светимость.

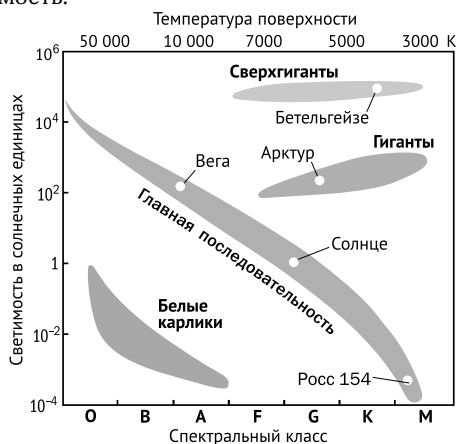
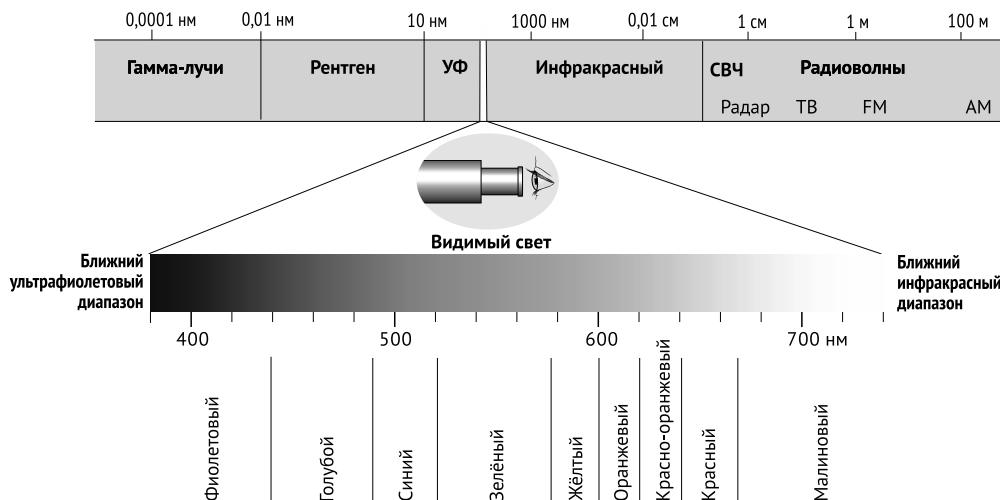


Диаграмма Герцшпрунга — Рассела

ДИАПАЗОНЫ СПЕКТРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

— условное деление шкалы электромагнитных волн.

Инфракрасный диапазон обычно подразделяют на ближний (от 700 нм до 5–40 мкм) и дальний (от 5–40 мкм до 100 мкм). Ультрафиолетовый диапазон также подразделяют на ближний (200–350 нм) и дальний, или вакуумный (10–200 нм); последний так назван, поскольку интенсивно поглощается атмосферой и



Диапазоны спектра электромагнитного излучения

исследуется только вакуумными приборами. В обоих случаях (ИК и УФ) «ближний» означает соседство с оптическим диапазоном. Часто как отдельный указывают субмиллиметровый диапазон (от 0,3 до 1 мм; частота от $3 \cdot 10^{11}$ до 10^{12} Гц).

Основные диапазоны спектра электромагнитного излучения

Диапазон излучения	Длина волны	Частота, Гц
Гамма-лучи	0–0,01 нм	∞ – $3 \cdot 10^{19}$
Рентгеновское	0,01–10 нм	$3 \cdot 10^{19}$ – $3 \cdot 10^{16}$
Ультрафиолетовое	10–350 нм	$3 \cdot 10^{16}$ – $8,6 \cdot 10^{14}$
Видимый свет	350–700 нм	$8,6 \cdot 10^{14}$ – $4,3 \cdot 10^{14}$
Инфракрасное	700 нм–100 мкм	$4,3 \cdot 10^{14}$ – $3 \cdot 10^{12}$
Микроволновое	100 мкм–10 мм	$3 \cdot 10^{12}$ – $3 \cdot 10^{10}$
Радиоволны	10 мм– ∞	$3 \cdot 10^{10}$ –0

ДИНАМО-ЭФФЕКТ — см. *Гидромагнитное динамо*.

ДИОНА (S IV, Dione) — естественный спутник Сатурна. Открыт 21 марта 1684 г. Дж. Кассини с помощью Большого «воздушного» телескопа Парижской обсерватории.

Диаметр орбиты Дионы 377 396 км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 2,736915 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0022. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,019°. Диаметр 1123 км. Масса $1,1 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,48 г/см³.

Ускорение свободного падения у поверхности 23 см/с². Вторая космическая скорость у поверхности 0,51 км/с. Блеск 10,4^m. Температура поверхности около 87 К.

По орбите Дионы движутся ещё два маленьких спутника — Елена и Полидевк. Это «троянцы» в системе Сатурн — Диона. Полидевк располагается в точке Лагранжа L₅, двигаясь по орбите на 60° впереди Дионы, а Елена отстаёт от неё на 60°, занимая точку Лагранжа L₄.

ДИСК ГАЛАКТИКИ — плоская звёздно-газовая подсистема вращающейся галактики. Типичные размеры: диаметр 10–40 кпк, толщина 50–200 пк. В диске сосредоточены почти весь межзвёздный газ и молодые звёзды. Они движутся весьма упорядоченно, обращаясь вокруг центра галактики по почти круговым орбитам, лежащим в одной плоскости. Диск галактики имеет высокую плотность по сравнению с окружающей его сферической составляющей галактики (корона, гало, балдж), населённой хаотически движущимися старыми звёздами, звёздными (шаровыми) скоплениями и тёмной материей. В дисках галактик часто наблюдаются спиральные волны плотности («рукава»), расходящиеся от центра галактики к периферии; в них особенно высока плотность межзвёздного газа и молодых звёзд.

ДИСК, ПРОТОПЛАНЕТНЫЙ — газово-пылевой диск, вращающийся вокруг молодой

звезды и содержащий остатки протозвёздного вещества. Если сама звезда не разрушает этот диск до конца своим излучением и звёздным ветром, в нём формируются небольшие протопланетные тела — планетезимали. Затем часть из них объединяется в крупные планеты и их спутники, а другая часть остаётся в виде астероидов и ядер комет. Протопланетные диски уже обнаружены у многих молодых звёзд.

ДИСК ЭРИ — центральный кружок интерференционной картины, возникающей из-за дифракции света на краях объектива телескопа (см. *Дифракция света*). Изображение точечного источника света, например звезды, даже в безаберрационном телескопе и при отсутствии атмосферных искажений не является точкой, а вследствие дифракции имеет вид диска с замытым краем, окружённого кольцами убывающей яркости. Центральное пятно дифракционной картины называют диском Эри (Airy disk). Его радиус (до середины первого тёмного промежутка между краем диска и кольцом) составляет $1,22\lambda/D$ радиан, где λ — длина световой волны, D — диаметр объектива. Для оптических телескопов эта величина в угловых секундах имеет значение $120''/D$, если D выражено в миллиметрах, и называется рэлеевским угловым разрешением телескопа. У радиотелескопа, имеющего параболическую антенну, диск Эри соответствует главному лепестку диаграммы направленности, а кольца — боковым лепесткам.

ДИСПЕРСИЯ СВЕТА — разложение сложного света при помощи стеклянной призмы или дифракционной решётки на отдельные цветные лучи, идущие в разных направлениях и образующие на экране спектр. Например, при разложении белого света его спектр представляет цветную полосу с постепенным переходом цветов от красного до фиолетового.

ДИСПЕРСИЯ СКОРОСТЕЙ — мера отклонения скорости космических объектов от средней скорости той группы объектов, в которую они входят. В статистическом понимании дисперсия скоростей равна среднему арифметическому квадратов отклонений скоростей объектов v_i от их среднего арифметического значения $v_{cp} = (v_1 + v_2 + \dots + v_n)/n$:

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - v_{cp})^2,$$

где n — число объектов.

В литературе по звёздной астрономии дисперсией скоростей часто называют квадратный корень из приведённого выше выражения, т. е. величину, называемую в теории вероятностей средним квадратичным отклонением. Измерение дисперсии скоростей служит одним из способов установления принадлежности звёзд, галактик, межзвёздных облаков и т. д. к определённому скоплению этих объектов. У объектов, входящих в одно и то же скопление, дисперсия скоростей невелика. Наименьшую дисперсию скоростей имеют объекты, принадлежащие к плоской подсистеме Галактики. Так, голубые звёзды спектрального класса В имеют дисперсию скоростей около 10 км/с при средней скорости относительно Солнца около 20 км/с. Типичные представители сферической подсистемы Галактики — шаровые звёздные скопления — имеют дисперсию скоростей около 150 км/с при скоростях отдельных скоплений относительно Солнца до 500 км/с. Расстояния между скоплениями галактик увеличиваются со временем по закону Хаббла, но отдельные галактики в скоплениях имеют свои собственные (пекулярные) скорости. Дисперсия скоростей галактик в скоплениях составляет 300–1000 км/с.

ДИССИПАЦИЯ (лат. *dissipatio* рассеяние) — в широком смысле так называют процесс рассеивания чего-либо, например энергии. В астрофизике диссипацией обычно именуют явление улетучивания газов из атмосфер космических объектов, вызванное тем, что тепловые скорости движения молекул могут превышать вторую космическую скорость. Газы, молекулы которых имеют меньшие массы, диссипируют (улетучиваются) легче других, поэтому такие летучие газы, как водород и гелий, практически отсутствуют в атмосферах планет земной группы, обладающих сравнительно слабыми гравитационными полями. В галактической динамике диссипацией звёздных скоплений называют вылет из них быстро движущихся звёзд. Как правило, это звёзды малой массы, которые за счёт гравитационного вза-

имодействия с другими членами скопления приобретают скорости выше средней.

ДИССИПАЦИЯ АТМОСФЕР — ускользание газов из атмосфер космических тел, вызванное беспорядочным (тепловым) движением атомов и молекул. При диссипации молекулы газов должны преодолеть тяготение космического тела и сопротивление вышележащих слоёв газа. Молекулы плотных нижних слоёв атмосферы даже при достаточной скорости не могут её покинуть из-за многочисленных столкновений друг с другом, меняющих направление и скорость их движения. Во внешних, сильно разреженных слоях атмосферы столкновения атомов и молекул столь редки, что те из них, которые обладают скоростью выше второй космической V_2 (скорость ускользания), покидают атмосферу. Скорость V_2 определяется по формуле: $V_2 = \sqrt{2GM/R}$, где M — масса космического тела, R — расстояние от центра планеты, G — гравитационная постоянная. Согласно распределению Максвелла, наиболее вероятная тепловая скорость частиц газа $V_H = (2kT/m)$, где m — масса частицы, T — температура газа. Максвелловское распределение показывает, что всегда есть частицы с очень большими скоростями, но при $V_2 \gg V_H$ их число экспоненциально мало, поэтому диссипация эффективна, лишь если V_2 превышает V_H не в слишком большое число раз: не более чем в 3–5 раз.

Скорость V_H тем выше, чем меньше масса частиц, т. е. вероятность диссипации выше у лёгких газов. К тому же, согласно барометрической формуле, распределение частиц газа в атмосфере с высотой таково, что в верхних её слоях преобладают газы с малой молекулярной массой. В результате из атмосферы в первую очередь ускользают лёгкие газы — водород и гелий. Расчёты показывают, что время полного улетучивания водорода из земной атмосферы составляет всего несколько лет, а гелия — несколько миллионов лет. Эти отрезки времени весьма малы по сравнению с продолжительностью существования Земли, однако в земной атмосфере водород и гелий постоянно обновляются за счёт их поступления из земных недр и ряда атмосферных процессов. Водород, образующий «корону» вокруг Зем-

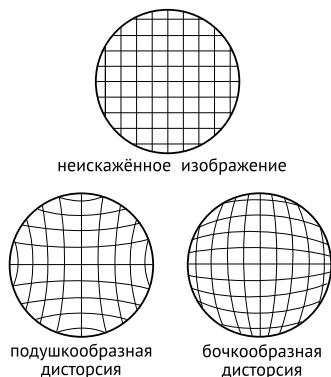
ли, является продуктом диссоциации молекул воды под действием ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца. Это же излучение поддерживает высокую температуру верхних слоёв земной атмосферы и облегчает ускользание атомов водорода и гелия.

Чем выше температура атмосферы (т. е. чем большее число молекул обладает высокими скоростями) и чем меньше сила тяжести, тем сильнее диссипация. Сила притяжения на поверхности Луны в 6 раз слабее земной, и поэтому к настоящему времени атмосфера Луны практически исчезла. У Меркурия и Марса, на поверхности которых сила тяжести меньше земной примерно в 3 раза, атмосфера существует, но очень разреженная. Планеты-гиганты благодаря большей силе притяжения и низкой температуре содержат в своих атмосферах много водорода и гелия. У многих спутников планет и астероидов $V_H \geq V_2$, поэтому они практически лишены атмосферы. Крайне слабая атмосфера на них может поддерживаться за счёт непрерывного выделения газов слагающими их твёрдую поверхность породами.

За критерий устойчивости атмосферы можно принять условие $V_H \leq 0,2V_2$, при котором время диссипации атмосферы превышает время существования планеты. У земной атмосферы эффективно диссипируют только водород и гелий, у Марса — водород, гелий и азот; атмосфера Венеры близка по устойчивости к земной. Атмосферы планет-гигантов устойчивы главным образом вследствие высокого значения скорости ускользания.

Атмосферы звёзд значительно горячее атмосфер планет (от 2800 К у звёзд спектрального класса M5 до 50 000 К у звёзд класса O5), а их короны ещё горячее (у Солнца до 1,5 млн К). Но и вторая космическая скорость у звёзд главной последовательности намного выше, чем у планет, поэтому прямая тепловая диссипация атмосфер звёзд невелика. В потере звёздами вещества гораздо более существенную роль играет газодинамическое истечение вещества — звёздный ветер. У горячих звёзд класса O значительные потери вещества происходят также за счёт давления излучения.

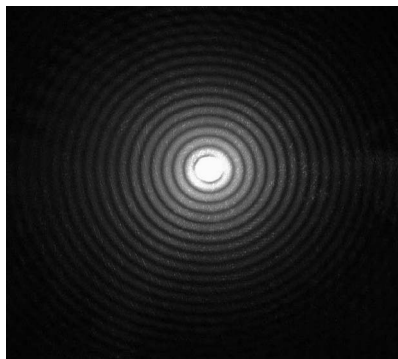
ДИСТОРСИЯ (лат. *distorsio* искривление) — абберация оптической системы, нарушающая геометрическое подобие между объектом и его изображением. Обусловлена неодинаковостью линейного оптического увеличения на разных участках изображения. Различают дисторсию подушкообразную, или положительную, и бочкообразную, или отрицательную.



ДИФРАКЦИОННЫЙ ПРЕДЕЛ — минимально возможный размер светового пятна ($d_{\min}$), которое можно получить, фокусируя электромагнитное излучение (например, свет) заданной длины волны λ в среде с показателем преломления n : $d_{\min} = \lambda / (2n)$.

Дифракционный предел открыл в 1873 г. Эрнст Аббе. В астрономии под дифракционным пределом часто понимают минимальный угловой размер изображения монохроматического источника излучения с длиной волны λ , созданного объективом диаметром D , который равен $\varphi_{\min} \approx \lambda / D$.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТА — отклонение лучей, прошедших вблизи края экрана, или сквозь малое отверстие, или сквозь узкую щель. Роль отверстия играет и объектив телескопа. Степень отклонения лучей возрастает с увеличением длины волны излучения (λ) и уменьшением размера отверстия (например, диаметра объектива D). Дифракция ограничивает чёткость изображений, даваемых оптическими приборами; по этой причине с помощью идеально изготовленного объектива обычно не удаётся различить детали объекта с угловым размером менее $1,22\lambda/D$. Этот предел называют дифракционной разрешающей способностью (или



Дифракция. Изображение удалённого точечного источника излучения, построенное оптически идеальным круглым объективом

угловым разрешением) объектива. См. *Разрешающая сила*.

ДНЕВНОЕ ЗРЕНИЕ — зрение при ярком освещении, достаточном для работы колбочек в сетчатке глаза. Противопоставляется сумеречному зрению, основой которого служит работа не чувствительных к цвету палочек сетчатки глаза.

ДОЛГОТА ВОСХОДЯЩЕГО УЗЛА — угол, измеряемый против часовой стрелки (при наблюдении из Северного полушария) вдоль эклиптики от точки весеннего равноденствия до восходящего узла орбиты. См. *Элементы орбиты*.

ДОЛГОТА, ГАЛАКТИЧЕСКАЯ — одна из координат в галактической системе; угол, измеряемый вдоль галактического экватора к востоку, от точки, обозначающей галактический центр, до меридиана, проходящего через небесное светило и галактические полюса.

ДОЛГОТА, ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ — угол с вершиной в центре Земли между точками, в которых Гринвичский меридиан и меридиан данной области пересекают экватор.

ДОЛГОТА ПЕРИГЕЛИЯ — сумма аргумента перигелия (угол от восходящего узла орбиты до точки перигелия, измеряемый в плоскости орбиты против часовой стрелки) и долготы восходящего узла. Таким образом, долгота перигелия измеряется от точки весеннего равноденствия до точки перигелия последовательно в двух плоскостях.

ДОЛГОТА, ЭКЛИПТИЧЕСКАЯ — одна из координат в эклиптической системе; угол, измеряемый вдоль эклиптики в сторону дви-

жения Солнца по эклиптике, между точкой весеннего равноденствия и меридианом, проходящим через небесное светило и полюса эклиптики.

ДОПЛЕРОВСКОЕ СМЕЩЕНИЕ — смещение линий в спектре движущегося источника излучения вследствие эффекта Доплера.

ДРАКОН — северное созвездие; извивается вокруг северного полюса мира, охватывая Малую Медведицу с трёх сторон. Греческий миф говорит, что это дракон Ладон, которого Гера поместила в саду Гесперид для защиты дерева с золотыми яблоками.

В прошлом звёзды Дракона играли более важную роль, чем сейчас. В результате прецессии земной оси северный и южный полюсы мира движутся среди звёзд. С 3700 до 1500 до н. э. северный полюс мира перемещался вблизи звезды Тубан (α Dra), и тогда именно она указывала направление на север. Ныне эту роль играет Полярная звезда в Малой Медведице. Полюс мира движется с периодом 25 770 лет вокруг полюса эклиптики, в который направлена ось земной орбиты. Это место на небе отмечено симпатичным объектом: яркая зеленовато-голубая планетарная туманность NGC 6543 расположена почти точно в северном полюсе эклиптики, между звёздами ξ и χ Дракона.

ДРАКОНИДЫ — метеорный поток, обычно слабый, но дававший обильные дожди в 1926, 1933 и 1946 гг. Активен приблизительно с 8 по 10 октября каждого года. Максимальная активность наблюдается около 9 октября. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Дракон. Геоцентрическая скорость частиц потока 23 км/с, поэтому его метеоры довольно медленные. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности около 10. Родоначалницей потока считается периодическая комета 21P/Джакобини — Циннера.

Е

ЕВРОПА (J II, Europa) — естественный спутник планеты Юпитер, один из четырёх «галилеевых» её спутников, открытых Галилеем 8 января 1610 г. с помощью первого созданного им телескопа. Для земного наблю-

дателя видимая звёздная величина Европы в период противостояния составляет $5,3^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $3' 40''$.

Европа — второй по расстоянию от Юпитера крупный спутник. Средний радиус её орбиты 670 900 км, эксцентриситет 0,009. К экватору Юпитера орбита Европы наклонена на $0,047^\circ$. Орбитальный период 3,551181 сут, средняя орбитальная скорость 13,740 км/с. Радиус Европы 1569 км ($= 0,90$ радиуса Луны); масса $4,8 \cdot 10^{22}$ кг; средняя плотность $3,01$ г/см³. Ускорение свободного падения на поверхности $1,314$ м/с², вторая космическая скорость 2,025 км/с. Однако следует помнить, что взлетающий с такой скоростью аппарат удалится от поверхности Европы, но не покинет её орбиту. Вторая космическая скорость относительно Юпитера на орбите Европы составляет 19,4 км/с. Ось вращения Европы почти перпендикулярна плоскости орбиты (наклон $0,1^\circ$), а само вращение происходит синхронно с орбитальным движением, так что на Юпитер всегда смотрит одно и то же полушарие спутника, подобно тому как видимая сторона Луны смотрит на Землю. Причина та же — приливное влияние планеты.

Вся поверхность Европы покрыта ледяным панцирем, поэтому хорошо отражает солнечный свет (альбедо 0,67). Средняя температура поверхности 102 К, а диапазон измеренной температуры составляет от 50 К у полюсов до 125 К на экваторе. Спутник практически лишён атмосферы. На поверхности Европы очень велик радиационный фон: 5,4 зиверта в сутки ($= 540$ бэр/сут); для человека это убийственная доза.

Высокая средняя плотность спутника указывает, что в основном он состоит из силикатных пород. Толщина ледового покрова, вероятно, составляет от 10 до 30 км. Подо льдом находится океан жидкой воды. Расчёты показывают, что этот океан простирается вглубь почти на 100 км, следовательно, его объём вдвое превосходит объём Мирового океана Земли. Вода в океане Европы, по-видимому, солёная: на это указывает слабое магнитное поле спутника, для поддержания которого требуется электропроводящая среда. Не исключено, что в океа-

не Европы может существовать жизнь. Для этого необходимы внутренние источники энергии (химические или термальные), о которых пока ничего не известно.

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЮЖНАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (European Southern Observatory, ESO; официальное название — European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere) — международная астрономическая организация ряда европейских стран, наблюдательные базы которой расположены в чилийских Андах на вершинах Ла-Силья и Сьерро-Паранал (пустыня Атакама, высота 2500 м), а также на плато Чакхантор (пустыня Атакама, высота 4800 м). Штаб-квартира ЕЮО находится в Гархинге близ Мюнхена (Германия). Оборудование обсерватории включает комплекс из четырех 8,2-м телескопов VLT (Паранал), 3,5-м телескоп новой технологии NTT, 3,6-м телескоп, 1-м камеру Шмидта и ещё несколько телескопов (Ла-Силья), комплекс субмиллиметровых телескопов ALMA на плато Чакхантор.

ЕВРОПЕЙСКОЕ КОСМИЧЕСКОЕ АГЕНТСТВО (European Space Agency, ESA) — международная организация, созданная в 1975 г. в целях исследования космоса. Целью ЕКА является создание и запуск космических аппаратов, развитие сопутствующих технологий, средств наземного обеспечения полётов и выполнение исследований космоса. Штаб-квартира ЕКА находится в Париже, а космодром — в Куру (Французская Гвиана). Для запуска космических аппаратов используются ракеты «Ариан-5», «Союз-2» и «Вега».

ЕДИНОРОГ — экваториальное созвездие. Впервые появилось в каталоге Я. Гевелия в 1690 г. Расположено между Большим Псом, Малым Псом и Орионом. Единорог почти целиком лежит в Млечном Пути, поэтому в нём много объектов, связанных с процессом формирования звёзд: тёмных и светлых туманностей, молодых звёздных скоплений, но ярких звёзд в этом созвездии нет. Молодое звёздное скопление NGC 2244 окружено облаком горячего газа, которое астрономы называют эмиссионной туманностью NGC 2237-9 (неформальное название — «Розетка»: оно выглядит как клочковатое кольцо, обрамляющее звёздное ско-

пление). Видимый размер Розетки вдвое больше, чем у лунного диска. Это облако в 11 000 раз массивнее Солнца и имеет диаметр около 55 св. лет. Представляют интерес рассеянные скопления М50 и Рождественская Ель (NGC 2264), включающее тёмную туманность Конус, а также Переменная туманность Хаббла (NGC 2261), изменяющая блеск на 2^m из-за переменности излучения освещающей её звезды. В Единороге находится и одна из самых массивных в нашей Галактике двойных звезд, открытая Дж. Пласскеттом в 1922 г. Она имеет период 14,4 сут и состоит из двух очень горячих звёзд спектрального класса O8, поэтому её обычно называют «горячая звезда Пласскетта». Полная масса этой системы около 110 M_☉, а её главный компонент массивнее Солнца в 54 раза.

Ж

ЖЕЛЕЗНЫЙ ПИК — локальный максимум на кривой распространённости химических элементов во Вселенной (обычно в звёздах типа Солнца). Этот избыток приходится на элементы группы железа — от скандия Sc до никеля Ni, до синтеза которых протекают квазистационарные термоядерные реакции в ядрах массивных звёзд. Дело в том, что эти реакции — от синтеза гелия до никеля — идут с выделением энергии. А для синтеза более тяжёлых элементов необходима затрата энергии, поэтому при обычных условиях в ядрах звёзд такой синтез не происходит (но он происходит, например, при взрывах сверхновых).

ЖЕРТВЕННИК — южное созвездие; одно из древнейших. Расположено под «хвостом» Скорпиона. Шумеры называли его «созвездием древнего жертвенного огня», а Птолемеи называл «кадиллом». Согласно Эратосфену, это алтарь, на котором боги дали общую клятву, когда Зевс собирался напасть на своего отца Кроноса. Возможно, в древности это было одно из созвездий Зодиака, но позже часть его звёзд отнесли к Скорпиону. Жертвенник лежит в Млечном Пути, поэтому в нём немало ярких звёзд и интересных объектов: например, одно из ближайших к нам шаровых звёздных скоплений —

NGC 6397, удалённое на 8200 св. лет. Довольно яркое и молодое рассеянное скопление NGC 6193, имеющее суммарный блеск звёзд около $5,5^m$, осветило и разогрело вокруг себя эмиссионную туманность NGC 6188, на фоне которой наблюдается сложное переплетение волокон тёмных туманностей.

ЖИВОПИСЕЦ — южное созвездие. Введено Н. Лакайлем (1713–1762), назвавшим его Живописный Станок, т. е. мольберт. В наши дни это название упростилось и стало восприниматься как «художник», а не как «прибор для рисования». Это маленькая группа тусклых звёзд к югу от созвездия Голубь. Найти её очень легко: буквально у границы Живописца располагается «звезда № 2» всего небосвода — Канопус из созвездия Киль. Вокруг звезды β Psc, удалённой на 55 св. лет, в конце XX в. был обнаружен вращающийся диск из пылинок и льдинок. Возможно, это планетная система в процессе формирования: в начале XXI в. в ней было отмечено присутствие довольно крупных объектов. На угловом расстоянии $8,5^\circ$ к северо-западу от звезды β Psc расположена Звезда Каптейна — красный карлик, известный тем, что он на втором месте после Летящей звезды Барнарда по скорости собственного движения ($8,654''/\text{год}$).

ЖИРАФ — крупное северное созвездие, протянувшееся от Персея, Возничего и Рыси к Малой Медведице. Выделил и назвал его астроном Якоб Барч в 1614 г. Созвездие состоит из очень тусклых звёзд, но одна из них весьма популярна среди любителей астрономии. Это карликовая новая Z Жирафа (Z Cam), которая обычно вспыхивает раз в 2–3 недели, увеличивая свой блеск менее чем за 2 сут от 13^m до 10^m . Но нередко и при этом совершенно неожиданно она приостанавливает свои вспышки и замирает на уровне $12,5^m$, испытывая лишь слабые колебания яркости. Это «выключение» вспышек может длиться месяцы, а то и годы, и вдруг неожиданно прекращается. Для того чтобы понять механизм функционирования этой странной звезды, требуется накопить длительные ряды наблюдений. Большую помощь профессиональным астрономам в этом деле оказывают любители. Детальную информацию о звезде Z Cam можно найти

на сайте Американской ассоциации наблюдателей переменных звёзд (www.aavso.org).

ЖУРАВЛЬ — южное созвездие. Выделено И. Байером в 1603 г. Лежит между Южной Рыбой на севере и Туканом на юге. Его ярчайшая звезда Альнаир (α Gru) имеет блеск $1,7^m$ и находится на расстоянии 100 св. лет.

3

ЗАВИСИМОСТЬ МАССА—СВЕТИМОСТЬ — функциональная связь между массой (M) и светимостью (L). Существование этой зависимости обусловлено прежде всего тем, что светимость звезды пропорциональна среднему по её объёму градиенту (перепаду) температуры ∇T (теплопроводность — ∇T), который определяется градиентом давления. В гидростатически равновесной звезде, где притяжение в каждой точке уравновешивается давлением, средний градиент давления тем больше, чем больше масса звезды, следовательно, с увеличением M растёт L . В теории внутреннего строения звёзд с центральным термоядерным источником энергии показано, что светимость звезды существенно зависит от прозрачности её недр и очень слабо зависит от скорости генерации ядерной энергии. Прозрачность определяется плотностью вещества и его температурой, т. е. в конечном итоге также массой звезды. На практике для звёзд главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга—Рассела часто используется зависимость масса—светимость в форме $L \sim M^\alpha$. К сожалению, показатель α сам зависит от массы звезды (в ед. $M_\odot$): $\alpha \approx 2,3$ при $M < 0,43$; $\alpha \approx 4$ при $0,43 < M < 2$; $\alpha \approx 3,5$ при $2 < M < 20$; $\alpha \approx 1$ при $M > 20$. Поэтому зависимость «масса—светимость» с фиксированным значением α можно использовать только в ограниченном интервале масс.

ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРИОД—СВЕТИМОСТЬ — связь между абсолютной звёздной величиной (т. е. светимостью) и периодом изменения блеска у переменных звёзд-цефеид. Впервые эта связь была замечена в 1908 г., когда гарвардский астроном Генриетта Ливитт открыла около 2000 переменных звёзд в Малом Магеллановом Облаке (ММО) и определила периоды переменности некото-

рых из них. Она заметила, что звёзды ММО, меняющие свой блеск примерно с такими же периодами, что и цефеиды Млечного Пути, оказываются в среднем тем ярче, чем больше период их переменности. Обнаруженные Ливитт звёзды действительно были цефеидами, но тогда она ещё не была в этом уверена. Важно, что размер ММО невелик по сравнению с расстоянием до него, и приближённо можно считать, что все его звёзды находятся на одинаковом расстоянии от нас. Поэтому Ливитт и удалось обнаружить зависимость «период—светимость» для цефеид: чем больше период переменности блеска, тем выше светимость цефеиды. Эта зависимость оказалась справедливой не только для ММО, но и для цефеид любой галактики.

Зависимость «период—светимость» постоянно уточняется. Один из современных её вариантов для классических цефеид выглядит так:

$$M_v = -1,01 - 2,79 \lg P,$$

где M_v — средняя за период пульсаций абсолютная величина звезды в фильтре V , а P — период, выраженный в сутках.

Период переменной звезды нетрудно определить из наблюдений. Вычислив затем по зависимости «период—светимость» абсолютную величину цефеиды и сравнив её с видимой звёздной величиной, можно определить расстояние до цефеиды, а если она входит в звёздную систему (звёздное скопление, галактику), то и до этой звёздной системы. Цефеиды — сверхгиганты, то есть звёзды высокой светимости, и их можно обнаружить даже в довольно отдалённых галактиках. Поэтому зависимость «период — светимость» является очень эффективным средством определения расстояний во Вселенной. Именно благодаря цефеидам астрономы научились определять расстояния до отдалённых частей нашей Галактики и до других галактик. Не случайно эти переменные звёзды называют «маяками Вселенной».

ЗАКОН СМЕЩЕНИЯ ВИНА — физический закон, определяющий длину волны, на которой абсолютно чёрное тело излучает наибольшее количество энергии. Теоретически его обосновали русский физик Владимир Александрович Михельсон (1860–1927) и не-

мецкий физик Вильгельм Вин (1864–1928) в 1893 г. Закон смещения утверждает, что максимум в распределении излучательной способности абсолютно чёрного тела по длине волны (т. е. поток энергии в единичном интервале длины волны) приходится на длину волны

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

где T — абсолютная температура, а b — постоянная Вина, равная $0,2898 \text{ см} \cdot \text{К}$. Иными словами, максимум в распределении энергии излучения чёрного тела смещается обратно пропорционально его абсолютной температуре. Например, у звёзд типа Солнца, имеющих эффективную температуру поверхности 5780 К , максимум излучения, в соответствии с законом смещения Вина, должен лежать на $\lambda_{\max} = 0,2898/5780 = 5,014 \cdot 10^{-5} \text{ см} \approx 500 \text{ нм}$, т. е. в сине-зелёной области спектра. Это весьма близко к действительности, хотя спектр Солнца всё же заметно отличается от идеального спектра абсолютно чёрного тела: в коротковолновой (голубой) части у него недостаток потока, поэтому визуально цвет Солнца кажется более жёлтым.

Тело человека, имеющее температуру около $T = 310 \text{ К}$, излучает в инфракрасном диапазоне с максимумом на $\lambda_{\max} = 0,2898/310 = 9,35 \cdot 10^{-4} \text{ см} \approx 9,4 \text{ мкм}$.

ЗАКОН ПЛАНКА — зависимость излучательной способности ϵ_λ абсолютно чёрного тела от температуры T и от длины волны λ :

$$\epsilon_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)},$$

где h — постоянная Планка, k — постоянная Больцмана, c — скорость света. Величина ϵ_λ показывает мощность излучения единицы поверхности абсолютно чёрного тела в единичном интервале длины волны.

ЗАКОН СТЕФАНА—БОЛЬЦМАНА — физический закон, устанавливающий связь между температурой T абсолютно чёрного тела и полной мощностью электромагнитной энергии E , излучаемой единицей его поверхности:

$$E = \sigma T^4.$$

Коэффициент пропорциональности $\sigma = 5,6705 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$ называется посто-

янной Стефана—Больцмана. С помощью этого закона легко устанавливается связь между светимостью звезды (L), её радиусом (R) и эффективной температурой поверхности:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4.$$

ЗАКОН ХАББЛА — наблюдаемая связь между расстоянием до галактики (D) и её лучевой скоростью (V_r), открытая американским астрономом Э. Хабблом в 1929 г.:

$$V_r = H_0 D,$$

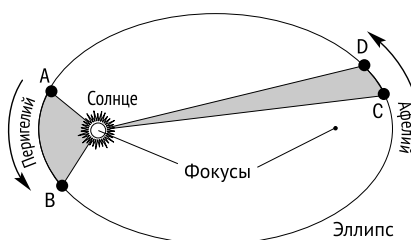
где H_0 — постоянная Хаббла, значение которой определяется из наблюдений пока не очень точно: $H_0 = 70 \pm 2$ км/(с·Мпк). Часто закон Хаббла называют «законом расширения Вселенной», но это не означает, что по такому закону расширяются все без исключения предметы или космические системы. Напротив, связанные физическими силами тела (планеты, звезды, и т. п.) или их системы (Солнечная система, Галактика, скопления галактик) не расширяются по закону Хаббла. Даже свободно разлетающиеся друг от друга галактики и их скопления под действием гравитационного притяжения стремятся снизить скорость взаимного удаления. А влияние «антигравитации», наличие которой обсуждается в современной космологии, должно ускорять разлёт галактик (некоторые наблюдения указывают на это).

Увеличение взаимного расстояния и изменение скорости разлёта галактик приводят к тому, что со временем значение постоянной Хаббла изменяется. Поэтому её нельзя считать неизменной мировой константой (как постоянную тяготения, заряд и массу электрона и т. п.) и правильнее было бы называть параметром Хаббла. Значение этой величины, измеренное в нынешнюю эпоху, отмечают нижним индексом «ноль» у величины H_0 . Универсальность закона Хаббла состоит в том, что он одинаково справедлив для наблюдателя, расположенного в любой из галактик и проводящего измерения в любом направлении, т. е. расширение Вселенной происходит однородно и изотропно. Относительно того, заслуженно ли это свойство Вселенной носит имя Хаббла, существуют различные мнения. На основе теории относительности А. Эйнштейна подобное свойство предвидели теоретики (Алек-

сандр Фридман, Жорж Леметр). Наблюдательный материал по красным смещениям в спектрах галактик и их изображения в значительной мере были получены коллегам Хаббла (Весто Слайфером, Милтоном Хьюмасоном). Всё это было давно известно, но, по общему мнению, не преуменьшало заслуг Хаббла в измерении расстояний до галактик и выводе закона расширения Вселенной. Однако в 2011 г. историки астрономии выяснили, что ещё в 1927 г. Жорж Леметр опубликовал исследование, основанное на наблюдательном материале и демонстрирующее линейную зависимость красного смещения в спектрах галактик от их расстояния почти с тем же значением параметра Хаббла, которое двумя годами позже опубликовал сам Хаббл. Эту работу Леметр опубликовал на французском языке в не очень популярном бельгийском журнале. Но когда в 1931 г. её перевод на английский язык был размещён в престижном журнале «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», в тексте исчезли именно те места, в которых демонстрировался будущий «закон Хаббла». В остальном перевод статьи Леметра сделан безупречно. Кто и по какой причине стал «цензором», пока не ясно. Высказываются подозрения в отношении самого Хаббла, но доказательств нет.

ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА — три закона движения планет вокруг Солнца, выведенные И. Кеплером в 1609–1619 гг. на основании многолетних наблюдений за положением планет, проделанных Тихо Браге в конце XVI в. Кеплер нашёл, что:

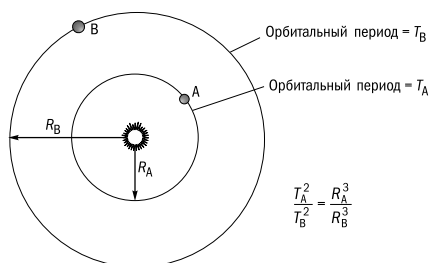
1) планета движется по эллипсу, в фокусе которого расположено Солнце (1609);



Первый и второй законы Кеплера. Пройденные за одинаковое время площади (показаны серым цветом) под дугами AB и CD, равны, но скорости на этих дугах различны.

2) скорость планеты меняется так, что её радиус-вектор (прямая, соединяющая планету с Солнцем) за равные промежутки времени описывает равные площади (1609);

3) кубы средних расстояний планет от Солнца пропорциональны квадратам периодов их обращения вокруг Солнца (1619).



Третий закон Кеплера

Позже на основании законов механики и закона всемирного тяготения И. Ньютон дал объяснение законам Кеплера и уточнил их для движения только двух тел под действием взаимного притяжения:

1) орбитами могут быть не только эллипс, но и другие конические сечения — гиперболы и параболы;

2) плоскость орбиты неизменна в пространстве;

3) отношение куба среднего расстояния между телами к квадрату периода их взаимного обращения пропорционально сумме масс этих тел.

Если в системе находится более двух тел, то формально эти законы становятся неверными. Однако если масса одного из тел подавляюще велика (в Солнечной системе это Солнце), то законы Кеплера, уточнённые Ньютоном, весьма точно описывают истинное движение тел.

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА — законы механики, сформулированные Исааком Ньютоном. Иногда в их число включают и закон гравитационного взаимодействия (притяжения) тел, также сформулированный И. Ньютоном. Три закона «классической» механики Ньютона в современной формулировке звучат так.

1) Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальная точка при отсут-

ствии внешних воздействий сохраняет величину и направление своей скорости неограниченно долго.

2) В инерциальной системе отсчёта ускорение, которое получает материальная точка, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе. В виде формулы это выглядит так: $a = F/m$, где a — ускорение, F — сила, m — масса.

3) Материальные точки попарно действуют друг на друга с силами, имеющими одинаковую природу, направленными вдоль прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению. (Проще говоря — действие равно противодействию.)

Закон всемирного тяготения Ньютона утверждает, что две точечные массы m_1 и m_2 притягиваются друг к другу с силой, равной произведению масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними: $F = Gm_1m_2/R^2$. Константа G («постоянная тяготения») зависит от выбора системы единиц. В системе СИ её значение равно $6,674 \cdot 10^{-11}$ Н (м/кг)².

ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ — явление, состоящее в том, что с точки зрения покоящегося наблюдателя часы движущегося наблюдателя отстают. Впервые это явление в общем виде было предсказано в рамках частной (специальной) теории относительности А. Эйнштейна и позже неоднократно было проверено в экспериментах.

ЗАПРЕЩЁННЫЕ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ЛИНИИ — спектральные линии, возникающие при энергетических переходах, не допускаемых правилами отбора для разрешённых переходов, и поэтому не наблюдаемые в обычных лабораторных условиях. В зависимости от характера изменения набора квантовых чисел, описывающих состояния атома или иона до и после перехода, запрещённые линии делят на магнитно-дипольные, квадрупольные, магнитно-квадрупольные, октупольные и др., а также на интеркомбинационные (переходы с изменением полного спина электронной оболочки атома или иона). Запреты на переходы не носят абсолютного характера. Нарушение правил отбора возможно из-за взаимодействия электронов в обо-

лочках сложных атомов или из-за особых физических условий, например чрезвычайной низкой плотности газа в межзвёздных туманностях. Для лёгких атомов и ионов (расположенных в начале Периодической таблицы элементов) правила отбора для так называемой LS-связи выполняются довольно точно и вероятность запрещённых переходов очень мала. Для более тяжёлых атомов и высокозарядных ионов часть правил отбора менее точна, и вероятность запрещённых переходов может быть не намного меньше, чем для разрешённых.

Запрещённые линии излучения могут возникать только при переходах атома из метастабильных состояний, т. е. из таких, из которых нет других переходов вниз, кроме запрещённых (в противном случае гораздо чаще происходят разрешённые переходы, чем запрещённые). Но время жизни атома в метастабильном состоянии очень велико: так, для иона O^{2+} в состоянии $^1D_2$, из которого испускаются мощные небулярные линии N_1 и N_2 , оно равно 38 с (на обычном уровне атом удерживается около 10^{-8} с). Следовательно, для того чтобы смог совершиться спонтанный переход из метастабильного состояния, необходимо, чтобы атом долгое время не подвергался никаким возмущениям: ни воздействию излучения, ни столкновениям. Значит, для появления запрещённых линий необходимы малая плотность излучения и малая плотность вещества.

Отсутствие запрещённых линий в звёздных спектрах говорит о том, что в атмосферах звёзд указанные условия не выполняются. Наоборот, на основании наличия многочисленных и весьма интенсивных запрещённых линий в спектрах газовых туманностей делается вывод о крайне малой плотности излучения и плотности вещества в этих объектах. К примеру, в 1 см^3 воздуха земной атмосферы при нормальных условиях содержится $2,7 \cdot 10^{19}$ молекул, концентрация атомов в солнечной фотосфере $\sim 10^{16} - 10^{17}\text{ см}^{-3}$, в солнечной короне электронная плотность $n_e \sim 10^8 - 10^9\text{ см}^{-3}$, а в планетарных туманностях $n_e \sim 10^2 - 10^6\text{ см}^{-3}$. Именно поэтому запрещённые спектральные линии впервые были обнаружены в спектрах небесных тел малой плотности.

В солнечной короне столкновения ионов между собой, ионов с электронами и фотонами из-за низкой плотности вещества очень редки, что приводит к накоплению ионов на метастабильном уровне. Впрочем, плотность солнечного излучения во внутренней короне ещё достаточно высока, но это излучение содержит мало высокоэнергичных фотонов, способных перевести ион с метастабильного на более высокий уровень энергии. Сочетание указанных благоприятных условий приводит к появлению в спектре короны запрещённых линий.

Эмиссионные линии короны долго не удавалось отождествить с линиями лабораторных источников излучения. Было даже высказано предположение, что корональные линии принадлежат неизвестному на Земле очень лёгкому газу «коронию». Лишь в 1942 г. удалось расшифровать эмиссионный спектр короны как излучение, возникающее при запрещённых переходах у многократно (от 12 до 15 раз) ионизованных атомов Fe, Ni, Ca (температура короны составляет несколько миллионов кельвинов, чем и вызывается такая высокая степень ионизации вещества). Наиболее характерная запрещённая линия солнечной короны — зелёная линия Fe XIV ($\lambda = 530,286\text{ нм}$).

Запрещённые линии обозначаются спектральным символом атома в квадратных скобках, обычно с указанием длины волны, обозначаемой буквой «лямбда». Так, запись [O II] $\lambda 731,99\text{ нм}$ означает «запрещённая линия однократно ионизованного атома кислорода с длиной волны 731,99 нанометров».

У запрещённых линий по сравнению с нормальными вероятность возникновения варьируется от 1% до 10–20% и более; чем больше вероятность, тем меньше степень «запрещённости». При вероятности порядка 1% запрещённая линия может проявляться в спектре звезды в виде слабой линии поглощения. При более низкой вероятности запрещённые линии обычно наблюдаются только как эмиссионные. В межзвёздных туманностях наиболее сильные эмиссионные линии — это запрещённые линии кислорода и азота: [O III] $\lambda 495,9\text{ нм}$, [O III] $\lambda 500,7\text{ нм}$, [O II] $\lambda 372,6\text{ нм}$, [O II] $\lambda 372,9\text{ нм}$ и [N III] $\lambda 386,9\text{ нм}$. Эти линии возникают при запол-

нении верхних метастабильных энергетических уровней, вызванных ударным возбуждением. Метастабильные уровни ионов лежат близко к основному уровню, поэтому ионы легко возбуждаются при столкновениях со свободными электронами. Такие столкновения эффективно охлаждают туманности (до 10^4 K).

Исследование интенсивности запрещённых линий N_1 и N_2 иона кислорода OIII (436,3 нм) лежит в основе одного из главных методов определения температур планетарных туманностей. Из экспериментально определённого отношения интенсивностей этих линий, учитывая вероятность возбуждения электронным ударом, можно оценить отношение доли быстрых электронов, способных возбудить ион OIII на 3-й энергетический уровень, к доле менее быстрых электронов, способных возбудить атом до 2-го уровня. Из этого отношения, используя тепловое распределение скоростей частиц, легко найти температуру газа. Поскольку интенсивности запрещённых линий определяются как возбуждениями атомных уровней соударениями электронов с атомами, так и деактивацией атомов ударами других атомов, по наблюдаемым интенсивностям этих линий можно определять также концентрацию электронов в среде. Сильные запрещённые линии наблюдаются в оптическом излучении ядер сейфертовских галактик и квазаров.

Радиолиния атомарного водорода 21 см также служит примером запрещённой линии с чудовищно малой вероятностью возникновения: время жизни атома в возбуждённом состоянии составляет 11 млн лет! Тем не менее излучение в этой линии наблюдается из-за огромного количества водорода в межзвёздной среде.

ЗАСВЕТКА НЕБА — нежелательное постоянное свечение ночного неба, затрудняющее наблюдение астрономических объектов. Имеет в основном искусственное происхождение — например, рассеянный свет от ночного освещения улиц и сооружений. За последнее столетие в связи с повсеместным электрическим освещением населённых пунктов астрономические обсерватории, построенные в городах или вбли-

зи них, потеряли своё значение. Места для строительства новых обсерваторий выбирают вдали от густонаселённых районов. На территориях экономически развитых стран подсвечивание земной атмосферы в ночное время искусственными источниками освещения приняло характер «светового загрязнения» (англ. light pollution). Это не только мешает астрономическим наблюдениям из обсерваторий в этих регионах, но и оказывает влияние на всё человечество. Заметная часть населения Земли из-за светового загрязнения ни разу в жизни не видела настоящего звёздного неба.

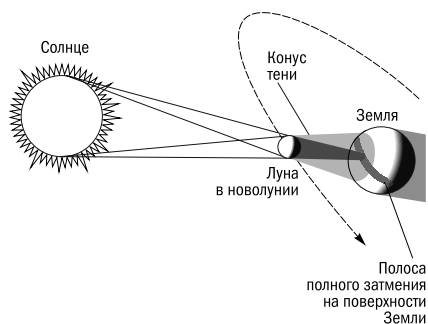
Естественными источниками засветки являются также ночное свечение атмосферы, полярные сияния, зодиакальный свет, рассеянный лунный свет и т. п.

Ухудшаются условия наблюдений с Земли космических объектов и в радиодиапазоне. Расширение частотных диапазонов, мощности и количества различных излучающих радиоустройств вносит всё больше радиопомех в радиодиапазоны, которые интересуют астрономов.

ЗАТМЕНИЕ — ситуация, когда три небесных тела располагаются на одной прямой. При этом наблюдатель, находящийся на одном из этих тел, может видеть, как другие два тела совмещаются в проекции (одно закрывает собой другое) либо как тень одного из них ложится на другое (если третье тело светящееся). Наиболее известны солнечные и лунные затмения. Наблюдаются также затмения в системах спутников планет-гигантов.

Луна закрывает от нас Солнце в моменты солнечных затмений. Если диск Луны полностью закрывает диск Солнца, то это полное затмение. Если Луна закрывает лишь часть солнечного диска, потому что их центры видны на некотором расстоянии друг от друга, то это частное затмение. Если же в момент, когда центры дисков Луны и Солнца совместились, тонкий ободок солнечного диска оказался незакрытым (поскольку в этот момент угловой диаметр Луны меньше, чем Солнца), то такое затмение называют кольцеобразным.

В моменты лунных затмений земная тень ложится на Луну. Лунные затмения то-

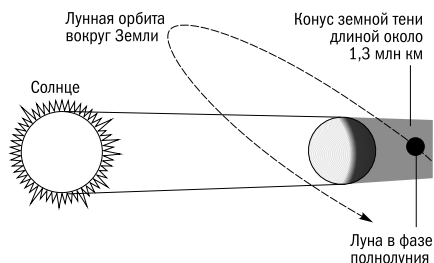


Солнечное затмение. Луна закрывает диск Солнца от некоторых наблюдателей на Земле.

же бывают полные и частные в зависимости от того, покрывает тень весь лунный диск или его часть. Если земная тень не касается лунного диска, но проходит вблизи него, происходит полутеневое лунное затмение. В этот момент для наблюдателя на Луне Земля закрывает собой часть солнечного диска; говорят, что на Луну ложится «полутень» Земли. Если же земная полутень покрывает лишь часть Луны, то это частное полутеневое лунное затмение (заметить его глазом весьма сложно).

Длительность полных солнечных затмений не превышает 7,5 мин, частных (большой фазы) — 2 ч. Лунная тень скользит по Земле со скоростью около 1 км/с, пробегая расстояние до 15 тыс. км; её диаметр около 270 км — это максимальная ширина области полного солнечного затмения. Полные лунные затмения могут длиться до 1 ч 45 мин. Затмения повторяются в определённой последовательности через период времени в $6585 \frac{1}{3}$ сут (т. н. сарос). Ежегодно бывает не более 7 затмений, из них не более 3 лунных.

С Земли наблюдаются также затмения в системах затменно-двойных звёзд, когда одна из звёзд системы проходит на фоне



Лунное затмение. Луна попадает в тень Земли и скрывается от всех наблюдателей.

другой. Если угловой размер экранирующего тела существенно меньше, чем фонового (экранируемого) тела, то затмение называют прохождением. Например, иногда наблюдаются прохождения Меркурия и Венеры по Солнцу, т. е. на фоне солнечного диска. Нередко наблюдаются прохождения экзопланет на фоне их звёзд.

ЗАТМЕННАЯ ДВОЙНАЯ (звезда) — см. *Двойная система, Затменные переменные звёзды.*

ЗАТМЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ — двойные звёзды, плоскости орбит которых наклонены под малым углом к лучу зрения наблюдателя, что создаёт условия для их периодических взаимных покрытий. В моменты покрытий, когда одна из звёзд загораживает другую, наблюдатель видит уменьшение суммарной яркости звёзд. Неоднократно наблюдать это возможно только в системах, имеющих короткий орбитальный период, где звёзды расположены близко друг к другу и, следовательно, не видны раздельно в телескоп (поэтому затменные звёзды не бывают визуальными двойными). Наблюдая изменение яркости «суммарной звезды» (т. е. построив её кривую блеска — зависимость видимой звёздной величины системы от времени) и измерив по смещению спектральных линий орбитальную скорость каждой из звёзд, можно определить их массы, радиусы, температуры поверхности и другие параметры (иногда даже форму). Часто у затменных переменных звёзд наблюдается эффект отражения, проявляющийся в том, что в промежутках между затмениями их блеск не остаётся постоянным, поскольку изменяется видимая для наблюдателя доля более тёплого полушария спутника, обращённого к яркому компоненту. Первую и наиболее яркую из затменных переменных — Алголь (β Персея) открыл английский астроном Джон Гудрайк в 1782 г.

ЗАХОД — явление пересечения светилом математического горизонта при его переходе из видимой части небесной сферы в невидимую. В момент захода объект скрывается за линией горизонта. При астрономических расчётах обычно имеется в виду математический горизонт, а не истинный (который у

каждого наблюдателя свой). В астрономических ежегодниках моменты восхода и захода Солнца и Луны публикуют для верхней точки видимого диска, отстоящей от центра светила в среднем на 16'. При этом учитывается атмосферная рефракция у горизонта, увеличивающая видимую высоту светила на 35' (иногда составители ежегодников принимают 34').

ЗАЯЦ — древнее экваториальное созвездие, расположенное прямо под Орионом. История его неизвестна. Арат пишет: «У орионовых ног изо дня в день Заяц бежит, от погони спасаясь. Но неотступно по следу его несётся Сириус, не отстав ни на шаг». Одна из интереснейших красных звёзд на всём небе — R Зайца (R Lep), которую в 1845 г. открыл астроном Джон Расселл Хайнд (1823–1895), назвал её Малиновой Звездой и описал как «каплю крови на чёрном фоне». Впервые эту переменную типа Миры Кита исследовал Иоганн Фридрих Юлиус Шмидт (1825–1884): с периодом 427 суток её блеск меняется от 5,5 до 11,7 звёздной величины. Это прекрасный объект для любительских наблюдений. Удалённая от нас на 29 св. лет γ Lep — двойная звезда с компонентами, сильно различающимися по цвету: рядом с яркой белой звездой красный компаньон. Для их наблюдения достаточно бинокля.

ЗВЕЗДА — небесное тело, светимость которого поддерживается протекающими в его недрах термоядерными реакциями. В стационарном состоянии этому условию отвечают объекты массой более $0,07\text{--}0,08 M_{\odot}$, состоящие в основном из невырожденной водородно-гелиевой плазмы, в целом пребывающей в гидростатическом равновесии или квазиравновесии (медленное изменение размера). Верхний предел массы звёзд, по современным наблюдениям, составляет $150\text{--}300 M_{\odot}$. Существование звёзд возможно только благодаря силе гравитации, удерживающей газ от быстрого расширения. Температура вещества в недрах звёзд составляет миллионы кельвинов, а на их видимой поверхности — тысячи кельвинов. Энергия в недрах большинства звёзд выделяется в результате реакций превращения водорода в гелий или гелия в углерод. Звёзды часто называют главными телами Вселенной,

поскольку в них заключена основная масса светящегося вещества в природе.

ЗВЕЗДА ГЛАВНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ — звезда, которая в соответствии со своей светимостью и температурой поверхности занимает место на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Рассела. В этом состоянии звёзды пребывают большую часть своей жизни, используя в качестве источника энергии термоядерные реакции синтеза более сложных химических элементов из более простых, например гелия из водорода. На главной последовательности любая звезда проводит наиболее длительную и стабильную часть своей жизни. Собственно, именно поэтому главная последовательность на диаграмме «температура — светимость» — это область, наиболее плотно населённая звёздами.

ЗВЕЗДА-КОКОН — звезда, являющаяся источником мощного инфракрасного излучения, но не видимая в оптическом диапазоне, поскольку погружена в плотное газово-пылевое облако. Некоторые из таких звёзд молодые, их возраст не более одного миллиона лет, и они скрыты веществом, оставшимся после их формирования. Встречаются также старые звёзды-кокеры: это красные гиганты или сверхгиганты, находящиеся на той стадии эволюции, когда с их поверхности выбрасывается большой поток обогащённого углеродом вещества, в котором при остывании конденсируются твёрдые частицы (пылинки), образующие вокруг звезды непрозрачный кокон. Некоторые из этих старых звёзд-кокеров мощно излучают в инфракрасном диапазоне, а также являются источниками лазерного излучения молекулы OH.

ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — безразмерная физическая величина, характеризующая освещённость, создаваемую небесным объектом вблизи наблюдателя. Субъективно её значение воспринимается как блеск (у точечных источников) или яркость (у протяжённых). При этом блеск одного источника указывают путём его сравнения с блеском другого, принятого за эталон. Такими эталонами обычно служат специально подобранные непременные звёзды. Звёздную величину сначала ввели как указатель видимого

блеска оптических звёзд, но позже распространяли и на другие диапазоны излучения: ИК, УФ. Шкала звёздных величин логарифмическая, как и шкала децибелов. В шкале звёздных величин разность на 5 единиц соответствует 100-кратному различию в потоках света от измеряемого и эталонного источников. Таким образом, разность на 1 звёздную величину соответствует отношению потоков света в $(100)^{1/5} \approx 2,512$ раза.

Обозначают звёздную величину латинской буквой «*m*» (от лат. *magnitudo* величина) в виде верхнего курсивного индекса справа от числа. Направление шкалы звёздных величин обратное, т. е. чем больше значение, тем слабее блеск объекта. Например, звезда 2-й звёздной величины (2^m) в 2,512 раза ярче звезды 3-й величины (3^m) и в $2,512 \times 2,512 = 6,310$ раза ярче звезды 4-й величины (4^m).

Видимая звёздная величина (*m*), или просто «звёздная величина», указывает поток излучения вблизи наблюдателя, т. е. наблюдаемую яркость небесного источника, которая зависит не только от реальной мощности излучения объекта, но и от расстояния до него. Шкала видимых величин ведёт начало от звёздного каталога Гиппарха (до 161 — около 126 гг. до н. э.), в котором все видимые глазом звёзды впервые были разбиты на 6 классов по яркости. У звёзд Ковша Большой Медведицы блеск около 2^m , у Веги около 0^m . У особо ярких светил значение видимой звёздной величины отрицательно: у Сириуса около $-1,5^m$ (т. е. поток света от него в 4 раза больше, чем от Веги), а блеск Венеры в некоторые моменты почти достигает -5^m (т. е. поток света почти в 100 раз больше, чем от Веги). Подчеркнём, что видимая звёздная величина может быть измерена как невооружённым глазом, так и с помощью телескопа; как в визуальном диапазоне спектра, так и в других (фотографическом, УФ, ИК). Таким образом, в этом термине «видимая» (англ. *apparent*) означает «наблюдаемая», «кажущаяся» и не имеет отношения конкретно к человеческому глазу (см. *Визуальная звёздная величина*).

Для удобства сравнения измерений, проведённых на разных обсерваториях при разных зенитных расстояниях звёзд, публикуемые в статьях и каталогах значения види-

мой звёздной величины обычно исправлены за поглощение в атмосфере («вынесены за атмосферу»).

Абсолютная звёздная величина (*M*) указывает, какую видимую звёздную величину имело бы светило в том случае, если бы расстояние до него составляло 10 пк и при этом отсутствовало бы межзвёздное поглощение света. Таким образом, абсолютная звёздная величина, в отличие от видимой, позволяет сравнивать истинные светимости небесных объектов (в заданном диапазоне спектра).

Что касается спектральных диапазонов, то существует множество систем звёздных величин, различающихся выбором конкретного диапазона измерения. При наблюдении глазом (невооружённым или через телескоп) измеряется визуальная звёздная величина (m_v). По изображению звезды на обычной фотопластинке, полученному без дополнительных светофильтров, измеряется фотографическая звёздная величина (m_p).

Поскольку фотоэмульсия чувствительна к синим лучам и нечувствительна к красным, на фотопластинке более яркими (чем это кажется глазу) получаются голубые звёзды. Однако и с помощью фотопластинок, используя ортохроматическую эмульсию и жёлтый светофильтр, получают так называемую фотовизуальную шкалу звёздных величин (m_{pv}), которая практически совпадает с визуальной.

Сопоставляя яркости источника, измеренные в различных диапазонах спектра, можно узнать его цвет, оценить температуру поверхности (если это звезда) или альбедо (если планета), определить степень межзвёздного поглощения света и другие важные характеристики. Поэтому разработаны стандартные фотометрические системы, содержащие от двух до дюжины и более спектральных диапазонов, в основном определяемых подбором светофильтров. Наиболее популярна трёхцветная система UVB: ультрафиолетовый (Ultraviolet), синий (Blue) и жёлтый (Visual). При этом жёлтый диапазон очень близок к фотовизуальному ($V \approx m_{pv}$), а синий — к фотографическому ($B \approx m_p$). При записи значений звёздных величин в определённых диапазонах («филь-

трах») обычно используют такую форму: $m_p = 5$, $V = 11$, $U = 7,8$ и т. п., не употребляя при цифре верхний индекс « m », поскольку и так ясно, о каких единицах измерения идет речь (см. *Фотометрическая система*).

Помимо спектрально-чувствительных приёмников, существуют болометры — интегральные приёмники излучения. Поток излучения, просуммированный по всем диапазонам спектра, дает болометрическую звёздную величину (m_b или m_{bol}) и позволяет (если известно расстояние до источника и степень межзвёздного поглощения) вычислить светимость объекта. Знание видимой болометрической величины позволяет вычислить приходящий от источника поток энергии:

$$f = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ dex } \{-0,4m_b\} \text{ Вт/м}^2.$$

Вычисленное (через расстояние и поглощение) значение абсолютной болометрической величины (M_b или M_{bol}) легко перевести в светимость (т. е. мощность излучения) звезды:

$$L = 3,0 \cdot 10^{28} \text{ dex } \{-0,4M_b\} \text{ Вт}.$$

Для Солнца $m_b = -26,83$ и $M_b = 4,74$. Это соответствует светимости Солнца $L_\odot = 3,85 \cdot 10^{26}$ Вт и потоку его излучения у Земли $f_\odot = 1369$ Вт/м².

ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ — гравитационно связанные группы звёзд, содержащие от дюжины до нескольких миллионов светил и входящие в состав галактик. В отличие от созвездий, в которых звёзды лишь случайно видны на небе рядом друг с другом, а в действительности не связаны между собой ни общим происхождением, ни даже близким расположением в пространстве, звёздные скопления — это группы звёзд, родившихся в одно время из одного облака межзвёздного газа. Члены звёздного скопления длительное время живут вместе, удерживая друг друга общими силами тяготения.

Наиболее известное звёздное скопление — Плеяды, которое в народе называют Стожарами, Волосожаром, Утиным Гнёздышком и др. Это симпатичный маленький «ковшик» в созвездии Тельца. Невооружённый глаз видит в Плеядах от 5 до 7 звёзд, но это лишь самые яркие; в бинокль их видно около 50, а всего в этом скоплении бо-

лее 300 звёзд, занимающих в пространстве область диаметром 7 пк и хаотически движущихся друг относительно друга со скоростями около 1 км/с. Плеяды удалены от нас примерно на 150 пк. Это относительно молодое скопление, его возраст около 100 млн лет.

Известны и значительно более молодые скопления, возраст которых — несколько миллионов лет, но обнаружены также и очень старые, возрастом до 13 млрд лет. Любители астрономии хорошо знают ещё одно скопление в Тельце — Гиады, ближайшее к нам звёздное скопление, расстояние до которого всего 45 пк. Поэтому оно занимает на небе обширную область вокруг оранжевой звезды Альдебаран (α Тельца), хотя сам Альдебаран в это скопление не входит.

Некоторые скопления звёзд были открыты ещё до изобретения телескопа — это Плеяды и Гиады, а также туманное пятнышко в созвездии Рака, известное как Ясли (лат. *Praesepe*); англичане называют его *Beehive Cluster*, т. е. Улей. Кроме того, в созвездии Волосы Вероники издавна известна россыпь слабых звёзд, ставшая причиной названия этого созвездия, единственного на небе, связанного с реальным историческим персонажем — Вереникой, женой египетского фараона Птолемея III Эвергета (III в. до н. э.). В Яслях, удалённых от нас на 170 пк, самые яркие звёзды имеют блеск 7^m. Чтобы их заметить, нужен чрезвычайно зоркий глаз (а лучше бинокль) и очень тёмное небо. Ещё несколько скоплений можно увидеть невооружённым глазом как слабые «туманные звёзды», но их истинная природа до изобретения телескопа была неизвестна. Например, тот факт, что звёздная россыпь в Волосах Вероники представляет собой единое скопление, был доказан лишь в 1915 г.

Появление в XVII в. телескопа привело к открытию множества звёздных скоплений. В одном из первых каталогов «туманных объектов» — каталоге Шарля Мессье (1781) — содержится всего 103 объекта, из них 57 являются звёздными скоплениями. Сейчас в нашей Галактике открыто уже около 2000 звёздных скоплений, но это лишь малая их часть; предстоит открыть намного больше.

В астрономической практике случается и такое, что звёздное скопление не выделяется «на глаз» среди россыпи звёзд на небе, но детальное исследование показывает, что часть звёзд в данной области неба удалена от нас на одинаковое расстояние и, что ещё важнее, движется согласованно, подобно группе людей в толпе, идущих в одном направлении. Обычно это не бывает случайным. Особенно нелегко заметить близкие к нам скопления, поскольку их члены широко рассеяны среди случайных звёзд фона. Чтобы точно доказать принадлежность звёзд к такому скоплению, нужно убедиться, что все они движутся в пространстве одинаково. Если это так, то эти группы звёзд называют движущимися скоплениями или движущимися группами; их известно уже несколько десятков. Например, из семи ярких звёзд Ковша Большой Медведицы пять звёзд принадлежат одной движущейся группе.

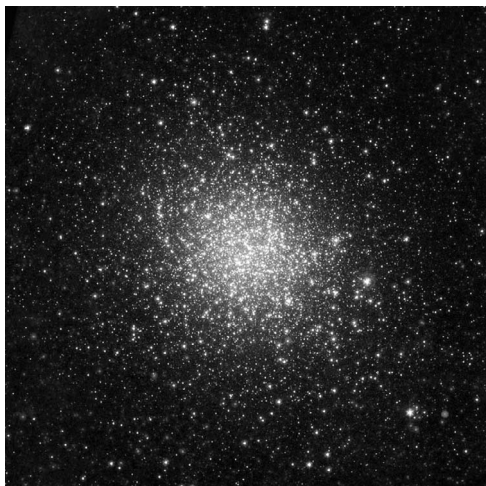
Лишь у немногих звёздных скоплений есть свои имена: Плеяды, Гиады и др. Остальные обозначают номерами по какому-либо каталогу; часто одно скопление имеет несколько обозначений. Например, яркое шаровое скопление в Геркулесе по каталогу Мессье обозначается как М13, а по «Новому общему каталогу туманностей и звёздных скоплений» (New General Catalogue of Nebulae and Star Clusters), опубликованному Йоханом Дрейером (1852–1926) в 1888 г., — как NGC 6205. Плеяды имеют номер в каталоге Мессье (М45), но их нет в каталоге NGC. Некоторые скопления — например, шаровые скопления 47 Тукана (NGC 104) и ω Кентавра (NGC 5139) — сначала были нанесены на карты как звёзды и получили соответствующие обозначения, и лишь позже в них разглядели «звёздные кучи» и присвоили им номера по каталогам незвёздных объектов.

Рождение звёздных скоплений. Скопления звёзд рождаются в недрах холодных облаков межзвёздного газа и пыли. Наблюдать этот процесс сложно, поскольку пыль делает такие облака непрозрачными для света. Но с помощью инфракрасных и радиотелескопов процесс рождения звёзд все же можно наблюдать. В плотной части облака под действием собственного тяготения газ сжи-

мается и делится на части — протозвёзды. Продолжая сжатие, протозвёзды разогреваются и становятся звёздами разных масс. Наиболее массивные из них приобретают высокую температуру и светимость, они разогревают вокруг себя остатки протозвёздного газа, его давление возрастает, он стремится расшириться и в результате разрушает материнское облако. На этом рождение звёзд прекращается и начинается жизнь звёздного коллектива. Его судьба может быть разной в зависимости от того, много ли в нём звёзд, близко ли они расположены друг к другу и насколько велико их взаимное движение. Если в момент разрушения облака звёзды располагались поодаль друг от друга и не ощущали сильного взаимного притяжения, а их взаимные скорости были велики, то они не смогут удержаться вместе и разлетятся менее чем за миллион лет. Если же родилась плотная и многочисленная группа звёзд, крепко связанных между собой взаимным тяготением, она образует устойчивый рой, который долго будет жить в виде звёздного скопления.

«Вылупление» звёздного скопления из родительского облака межзвёздного газа — процесс интересный и не до конца изученный. Звёзды разного типа по-разному влияют на окружающее облако. Самые массивные из них мощным излучением разогревают окружающий газ, повышают его давление и заставляют расширяться. Быстро прожив отпущенные природой несколько миллионов лет, они взрываются как сверхновые и своей расширяющейся оболочкой выгребают наружу остатки окружавшего их газа. Звёзды малой массы, похожие на Солнце, влияют на окружающий газ в период своего формирования: окружённые аккреционным диском, они выбрасывают вдоль оси вращения диска мощные газовые струи, которые расталкивают и нагревают межзвёздное вещество, заставляют его покидать область звёздообразования.

Типы скоплений. Звёздные скопления принято делить на несколько типов по их внешнему виду, возрасту и количеству звёзд. Наиболее известны три типа звёздных группировок: рассеянные скопления, шаровые скопления и звёздные ассоциации.

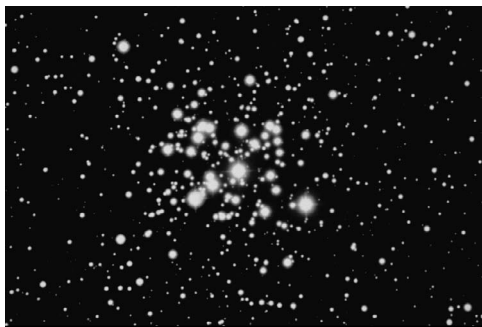


Шаровое скопление Омега Кентавра (ω Cen, NGC 5139) на расстоянии около 5 кпк от Солнца. Его масса 4 млн $M_{\odot}$, радиус 26 пк и возраст около 12 млрд лет.

Шаровые скопления — самые плотные и массивные; они содержат от 10 тыс. до нескольких миллионов звёзд; в среднем около 200 тыс. Это очень старые скопления, возрастом 10–13 млрд лет, поэтому их звёзды, имевшие массы больше солнечной, уже закончили свою эволюцию, а продолжают светить только звёзды малых масс.

Хотя некоторые шаровые скопления можно заметить глазом как размытые пятнышки (например, M13 в Геркулесе или ω Кентавра), их истинную природу открыли с помощью телескопа. Пока в нашей Галактике найдено около 160 шаровых скоплений; всего же их, вероятно, около 180. Они обнаруживаются по всему объёму Галактики, заполняют галактическое гало до расстояния в 100 кпк от галактического центра, но чем ближе к центру Галактики, тем чаще можно встретить шаровые скопления. Поэтому особенно много их наблюдается в созвездиях Стрелец и Скорпион — в том направлении, где лежит центр Галактики.

Рассеянные скопления содержат от нескольких десятков до нескольких тысяч звёзд; в среднем 200–300. Эти скопления, как правило, располагаются вблизи галактической плоскости, а значит, наблюдаются в полосе Млечного Пути или недалеко от неё. По этой причине раньше их называли «галактическими скоплениями». Английское



Рассеянное скопление NGC 3293 в созвездии Киль на расстоянии 2,8 кпк от Солнца. Его радиус 4 пк, а возраст около 8 млн лет.

название этих скоплений — open clusters — иногда переводят буквально, как «открытые скопления», что недопустимо.

Звёзды в рассеянных скоплениях значительно моложе, чем в шаровых: обычно им не более 1 млрд лет, а их типичный возраст около 10 млн лет, т. е. всего лишь около 1/500 от возраста Земли и Солнца. Поэтому вполне объяснимо расположение рассеянных скоплений в плоскости Галактики, там, где много межзвёздного газа, из которого формируются звёзды. Поскольку рассеянные скопления сравнительно молоды, они содержат много массивных ярких звёзд. Но «упакованы» эти звёзды не так плотно, как в шаровых скоплениях.

Как правило, шаровые скопления выглядят плотнее рассеянных и имеют более правильную, симметричную форму. Но по фотографии не всегда отличишь рассеянное скопление от шарового: у далёких шаровых скоплений видны только самые яркие звёзды — красные гиганты, которых раз в сто меньше, чем обычных звёзд главной последовательности. Поэтому на фотографии далёкого и не очень богатого шарового скопления видно около сотни звёзд, так что сразу не понять, какого типа это скопление.

Звёздные ассоциации — ещё более разреженные группировки звёзд, чем рассеянные скопления. Ассоциации расположены в спиральных рукавах Галактики, где сконцентрировано межзвёздное вещество и рождаются звёзды. Известно менее ста ассоциаций, и все они состоят из молодых, ярких и массивных звёзд, в основном спектральных классов O и B. Звёзды мень-

шей массы в ассоциациях тоже есть, но их сложнее заметить. Часто звёзды ассоциации разлетаются от общего центра, где они когда-то родились. Если проследить их пути назад, то оказывается, что они тронулись в путь около миллиона лет назад — совсем недавно по масштабам возраста звёзд. Когда через несколько миллионов лет эволюция наблюдаемых сейчас О- и В-звёзд закончится, заметить на небе известные ныне ассоциации станет невозможно. Но на смену им наверняка родятся новые. Возможно, большая часть звёзд в Галактике родилась именно в составе короткоживущих ассоциаций.

Эволюция скоплений. «Паспортом» каждого скопления служит диаграмма Герцшпрунга — Рассела для его звёзд: по ней можно определить возраст скопления, расстояние до него и др. Звёзды скопления движутся по орбитам вокруг общего центра массы примерно так же, как планеты обращаются вокруг Солнца. Разница лишь в том, что массивное Солнце полностью подчиняет себе движение лёгких планет, делая их орбиты весьма простыми — эллиптическими. Движение же каждой звезды в скоплении происходит под влиянием всех остальных звёзд, отчего её орбита становится весьма сложной, немного напоминающей ромашку.

Когда звезда проходит особенно близко от соседних с ней звёзд, её скорость под действием их притяжения может резко уменьшиться или увеличиться. Если скорость звезды уменьшается, она переходит на более компактную орбиту и большую часть времени проводит вблизи центра скопления. Если же скорость увеличивается, то звезда уходит на периферию скопления — в его гало. Иногда скорость звезды возрастает настолько, что она может вырваться из притяжения своих соседей и навсегда покинуть скопление. Поэтому время от времени каждое звёздное скопление теряет своих членов и в конце концов полностью «испаряется». Скопления из 50–100 звёзд живут примерно 100 млн лет, из 1000 звёзд — 1 млрд лет, а из 10 тыс. звёзд — около 10 млрд лет.

Взаимодействие звёзд приводит к тому, что самые массивные из них, а также двойные звёзды постепенно опускаются к центру скопления и формируют там плотное

ядро, а более лёгкие звёзды уходят на периферию скопления и образуют его корону. Когда в ядре скопления происходит тесное сближение одиночной звезды с двойной системой, их взаимодействие может завершиться заменой партнера в двойной или полным разрушением системы. Но чаще всего пролёт одиночной звезды мимо двойной приводит к тому, что двойная становится более компактной и прочно связанной системой, а пролетающая одиночная звезда получает дополнительный импульс и с увеличенной скоростью уносится прочь.

Существуют и другие причины разрушения скоплений. Например, когда мимо звёздного скопления пролетает массивный объект — крупное облако межзвёздного газа или другое звёздное скопление, — своим притяжением оно нарушает спокойное движение звёзд, которые начинают двигаться более хаотично, и скопление от этого распадается. Маленькие звёздные скопления не выдерживают таких «гравитационных ударов» и полностью разрушаются.

Звёздные скопления очень ценны для астрономии, поскольку это группы звёзд, одинаково удалённых от нас и родившихся одновременно из одинакового вещества. Звёзды в скоплении различаются только исходной массой, что значительно облегчает изучение их эволюции.

ЗВЁЗДНЫЙ ВЕТЕР — постоянное истечение газа из атмосферы звезды, уносящее вещество в межзвёздное пространство. Наблюдается у звёзд всех спектральных классов, но наиболее сильным он является у горячих массивных звёзд. Скорость истечения газа обычно близка ко второй космической скорости на поверхности звезды, т. е. заключена в пределах от 30–50 км/с для красных гигантов до 1000 км/с для массивных звёзд спектрального класса О. Поток вещества, теряемого светилом в виде звёздного ветра, может достигать $10^{-5} M_{\odot}/\text{год}$ (у массивных звёзд типа Вольфа — Райе), но у нормальных звёзд он значительно меньше; например, поток солнечного ветра всего около $10^{-14} M_{\odot}/\text{год}$, а его скорость в окрестности Земли около 400 км/с. Для большинства звёзд потеря массы в виде звёздного ветра за всё время жизни звезды незначительна.

Но у наиболее массивных звёзд, несмотря на короткое время их жизни ($\sim 10^7$ лет), эта потеря может составить существенную долю исходной массы звезды.

ЗВЁЗДНЫЙ ДОЖДЬ (метеорный дождь) — значительно более частое, чем обычно, появление на ночном небе «падающих звезд» (метеоров), вызванное встречей Земли с космическим роем твёрдых частиц — метеорных тел (см. *Метеорный поток*).

ЗВЁЗДООБРАЗОВАНИЕ — процесс формирования звёзд из разреженного межзвёздного или догалактического газа. Существование в Галактике нескольких звёздных населений (с типичными для звёзд каждого населения физическими характеристиками, химическим составом и пространственным распределением) теория объясняет непрерывающимся рождением звёзд и изменением их свойств со временем. Каждое поколение звёзд хранит следы тех условий, которые имели место в период их рождения.

Процесс современного звёздообразования астрономы изучают путём прямых наблюдений, поэтому многие его стороны уже понятны или быстро проявляются. Однако чёткого представления о формировании первых поколений звёзд и звёздных систем, таких как шаровые скопления и галактики разного типа, пока нет.

Картина формирования нашей Галактики и подобных ей звёздных систем представляется так: в молодой расширяющейся Вселенной обычное (барионное) вещество и заметно превосходящая его по плотности тёмная материя неизвестной пока природы были распределены в пространстве чрезвычайно (но не абсолютно!) однородно. Под действием гравитации малые флуктуации плотности быстрее росли у тёмной материи, не обладающей такой упругостью, как взаимодействующее с излучением барионное вещество. Поэтому первые гравитационно связанные структуры сформировались из тёмной материи, а затем уже в эти потенциальные ямы стало стягиваться барионное вещество — протогалактический газ.

В период, когда рождались первые звёзды, протогалактическое газовое облако состояло из водорода (около 75% массы) и гелия (около 25%). В конце своей эволю-

ции звёзды первого поколения обогащают межзвёздный газ элементами более тяжёлыми, чем водород и гелий. Поэтому звёзды, родившиеся позже, относительно богаче тяжёлыми химическими элементами. Старые звёзды населяют сферическую подсистему Галактики, для которой характерна сильная концентрация звёзд к галактическому центру. Более молодые звёзды концентрируются к галактической плоскости, поскольку газ, из которого они образовались, постепенно оседал к этой плоскости (из-за вращения и действия центробежных сил он не мог столь же эффективно сжиматься к оси вращения Галактики). Самые молодые объекты Галактики располагаются в непосредственной близости к галактической плоскости и обладают небольшой (по сравнению с более старыми популяциями) дисперсией скоростей.

Все индикаторы возраста показывают, что звёзды в Галактике имеют возраст приблизительно от 13 млрд лет (самые старые) до 100 тыс. лет и меньше. Иными словами, звёздообразование происходит в Галактике и сейчас. Об этом свидетельствует присутствие массивных и горячих (молодых) звёзд спектральных классов O и B во внутренних краях галактических спиральных рукавов (где концентрация газа и пыли повышена), существование мощных источников ИК-излучения в межзвёздных облаках водорода (ими могут быть молодые звёзды на стадии звезды-кокона) и другие факты, о которых будет сказано ниже. Возраст этих объектов порядка 10^5 – 10^7 лет, т. е. крайне мал по сравнению с возрастом Галактики.

Теоретические представления о звёздообразовании. Звёздообразование начинается с фрагментации протяжённых холодных облаков газа под действием гравитационных сил. Фрагментация становится возможной в том случае, если масса выделяющегося фрагмента превосходит критическое значение (джинсовскую массу)

$$M_J = (kT/Gm_H)^{3/2} \rho^{-1/2},$$

где T и ρ — температура и плотность газа, m_H — масса атома водорода, k — постоянная Больцмана. Для фрагмента с такой массой действие гравитационных сил преобладает

над действием сил газового давления, и облако начинает сжиматься; это явление называют гравитационной неустойчивостью. Если облако массивное ($M \gg M_J$), то в нём постепенно выделяется центральная плотная часть. Температура этой части облака, несмотря на постепенное увеличение его плотности, остаётся низкой вследствие интенсивного остывания газа: выделяющуюся при сжатии теплоту уносит излучение молекул газа. При достижении определённой степени плотности становятся эффективными столкновения молекул газа с частицами пыли, которая приобретает температуру газа. Излучение пыли в субмиллиметровом и длинноволновом ИК-диапазоне, уносящее значительное количество энергии, удерживает газ холодным. Сжатие газа протекает почти изотермически. Из выражения для M_J видно, что в таком случае значение M_J с ростом плотности уменьшается, и в какой-то момент плотная часть облака вновь может разделиться на отдельные гравитационно связанные фрагменты с массой, близкой к величине M_J на данной стадии.

Наряду с гравитационной неустойчивостью большая роль в звёздообразовании принадлежит фрагментации вследствие тепловой неустойчивости. Заметную роль может играть также магнитное поле, в присутствии которого может возникнуть неустойчивость Рэлея – Тейлора. Магнитное поле заморожено в межзвёздный газ, поэтому при сжатии газа напряжённость поля возрастает. Этот процесс объясняет в общих чертах происхождение магнитных полей звёзд.

Каждый из возникших фрагментов облака газа снова сжимается под действием собственной гравитации, и когда величина M_J для него становится много меньше его массы, он, в свою очередь, распадается на серию более мелких фрагментов. Этот процесс называют иерархической, или каскадной, фрагментацией. Он продолжается до тех пор, пока на какой-то стадии плотность газа не станет столь высокой, что очередные фрагменты окажутся непрозрачными для излучения, уносящего выделяющуюся теплоту. Сжатие непрозрачных фрагментов сопровождается адиабатическим ростом температуры, который приводит к увеличе-

нию M_J , а следовательно, к невозможности дальнейшей фрагментации. Последняя серия фрагментов и представляет собой протозвёзды – непрозрачные массы газа, в которых гравитация уравновешена внутренним давлением. Расчёты показывают, что при достижении газом состояния непрозрачности масса фрагментов имеет вполне определённую величину, которая выражается практически только через фундаментальные константы – скорость света, гравитационную постоянную, постоянную Планка, заряд и массу электрона. Эта величина близка к наблюдаемым массам звёзд, что является одним из важнейших результатов современной теории звёздообразования.

Развить теорию, объясняющую распределение фрагментов по массе (т. е. функцию масс образующихся звёзд), пока не удалось. Однако теория объясняет, почему массы рождающихся звёзд не могут быть слишком большими. Естественно предположить, что непрозрачной для излучения становится сначала центральная плотная часть протозвёзды – её ядро, которое излучает с поверхности энергию приблизительно как абсолютно чёрное тело. На ядро падает (аккрецирует) оставшийся в оболочке газ, постепенно увеличивая массу ядра. С ростом массы быстро растёт светимость ядра, и на некоторой стадии (если оболочка была массивной и на ядро выпало достаточно много вещества) она становится столь высокой, что излучение, нагревая газ в оболочке, рассеивает последнюю в межзвёздном пространстве (важную роль здесь играет также давление излучения). Рост массы ядра протозвёзды прекращается, и оно уже окончательно эволюционирует в звезду. Согласно расчётам, максимальные массы, которые могут образоваться путём аккреции протозвёздой вещества оболочки, не превышают нескольких десятков масс Солнца, что близко к массам ОБ-звёзд.

С момента, когда аккреция оболочки на гидростатическое ядро закончилась и объект стал медленно сжиматься, выделяя гравитационную энергию, его называют «молодой звездой» или «звездой на стадии приближения к главной последовательности» (pre-main sequence star). Сначала формирующая-

ся звезда имеет размеры, значительно превышающие размеры звёзд такой же массы на более поздней стадии эволюции (при выходе на главную последовательность), и поэтому излучает большое количество энергии. На этой стадии она находится в верхней правой части диаграммы Герцшпрунга – Рассела (ГР), т. е. в области красных гигантов и сверхгигантов. Источник её свечения – выделяющаяся при сжатии гравитационная энергия. По мере сжатия растёт температура поверхности, а полная светимость снижается (из-за уменьшения площади излучающей поверхности), и протозвезда перемещается ГР-диаграмме влево и вниз, в сторону главной последовательности.

В конце концов температура в центре достигает значений, при которых включаются термоядерные источники энергии, и дальнейшее сжатие останавливается. Тот момент, когда по своей светимости и температуре поверхности молодая звезда достигает главной последовательности, знаменует её превращение в нормальную звезду.

Стадия протозвезды продолжается сравнительно недолго (у звёзд с массой $\sim 1M_{\odot}$ – около $5 \cdot 10^6$ лет); кроме того, протозвёзды окружены «коконом» – плотной газово-пылевой оболочкой, непрозрачной для видимого излучения. Всё это сильно затрудняет обнаружение и исследование процесса рождения звёзд.

Данные наблюдений. С развитием радио- и ИК-астрономии стало возможным заглянуть в «колыбель» звезды, так как газ и пыль в радио- и ИК-диапазоне прозрачны. Одна из областей звёздообразования в Галактике расположена в созвездии Кассиопея. Здесь находится рассеянное звёздное скопление IC 1805, имеющее возраст около 10^6 лет; оно содержит ярчайшие короткоживущие О-звёзды. Вокруг звёзд до сих пор видны нитеобразные следы газа (филаменты) – остатки газового облака, из которого сформировалось скопление. Рядом со скоплением звёзды рождаются в современную эпоху. На расстоянии всего 1° от IC 1805 обнаружена область W3, не содержащая видимых звёзд, но сильно излучающая в радиодиапазоне. Оказалось, что почти всё излучение идёт от четырёх-пяти компактных зон

НII. Их светимость соответствует светимости зон НII, возбуждаемых УФ-излучением О-звёзд. Нет сомнений в том, что в центре этих областей находятся только что родившиеся звёзды. Таким образом, W3 – «невидимое» звёздное скопление, находящееся на стадии формирования. От IC 1805 оно отличается большей компактностью и большим количеством плотных газово-пылевых облаков, т. е. как раз тем, чего можно ожидать в картине формирования звёзд в результате фрагментации массивного газового облака протоскопления.

Чрезвычайно молодые звёзды в W3 обнаруживают себя не только ионизацией окружающего газа. Сквозь газово-пылевой кокон может проходить ИК-излучение как самой звезды, так и пыли, которая, поглощая свет звезды, нагревается и переизлучает его в ИК-диапазоне. Все компактные зоны в W3 – сильные ИК-источники. Один из них – источник IRS 5 – в десятки тысяч раз мощнее Солнца. Почти всю энергию он излучает на волнах длиннее 3 мкм как тело с эффективной температурой $T_{\text{eff}} \approx 350$ К. Кроме того, он оказался источником мазерного излучения на молекуле воды. Анализ совокупности этих фактов показал, что источник IRS 5 – действительно рождающаяся звезда. Похоже, что этот объект находится в промежуточной фазе между стадиями сжатия и собственно звезды: в его центре, скорее всего, уже идёт термоядерное горение водорода, но масса его продолжает расти за счёт аккреции вещества оболочки.

Звёздообразование активно происходит также в туманности Ориона (области W49, W51, W75), в центре Галактики (например, в молекулярном облачном комплексе Sgr B2) и в других местах. Характерные особенности этих областей – наличие ИК-источников, источников мазерного излучения, компактных зон НII, плотных молекулярных и пылевых облаков.

Процессы, замедляющие звёздообразование. Тесная связь компактных областей НII, ИК- и мазерных источников излучения с плотными молекулярными облаками показывает, что звёздообразование происходит в молекулярных облаках. Поэтому следует ожидать, что облака атомарного водо-

рода должны становиться молекулярными перед тем, как в них начнётся звёздообразование. Масса отдельных молекулярных облаков и их комплексов составляет от 20 до $10^5 M_\odot$, температура — от 10 до 80 К. В диффузных молекулярных облаках концентрация молекул $n \approx 20 \text{ см}^{-3}$, в тёмных облаках (например, в глобулах Бока) $n > 10^3 \text{ см}^{-3}$. Полагают, что тёмные облака возникают благодаря быстрому сжатию диффузных. Минимальная величина гравитационно связанной массы (джинсовской массы) для молекулярных облаков $\approx 20\text{--}30 M_\odot$. Масса же тёмных облаков $M_{\text{dc}} \approx 100\text{--}200 M_\odot$. Если в таких облаках не действуют стабилизирующие факторы (давление, турбулентность, вращение и магнитное поле), то облака должны сжиматься. Полная масса молекулярных облаков в Галактике $\sim 10^9 M_\odot$. В этих условиях, если гравитационное сжатие происходит за время свободного падения t_{ff} , близкое к 10^6 лет при $n_{\text{H}} \approx 10^3 \text{ см}^{-3}$, темп звёздообразования в Галактике должен был бы составить $\sim 10^3 M_\odot$ в год. Это значительно больше, чем следует из наблюдений. Таким образом, в плотных облаках газа должны действовать стабилизирующие факторы, препятствующие гравитационному сжатию. Существенным стабилизирующим фактором не может быть давление, так как $M_{\text{dc}} \gg M_J$. Для того чтобы турбулентность могла остановить сжатие, она должна быть сверхзвуковой. Однако сверхзвуковая турбулентность генерирует ударные волны, энергия которых преобразуется в энергию излучения и высвечивается за «время охлаждения» $t_c \ll t_{\text{ff}}$, так что турбулентность не может удержать облака от сжатия.

Стабилизировать облака может вращение. Первоначально слабое исходное вращение газовых облаков усиливается в процессе сжатия из-за сохранения момента импульса. Скорость вращения массивных облачных комплексов, по данным наблюдений, $\omega \approx 0,1 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{пк})$, массивных облаков $\approx 0,4\text{--}2 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{пк})$, тёмных облаков $\approx 2\text{--}3 \text{ км}/(\text{с} \cdot \text{пк})$, т. е. вращение, по-видимому, способно удержать тёмные облака от сжатия. Звёзды образуются из вращающихся облаков, поэтому они также должны вращаться.

Процессы, стимулирующие звёздообразование. Поскольку молекулярные облака удерживаются от сжатия стабилизирующими факторами, звёздообразование может начаться только при воздействии триггеров (спусковых механизмов), стимулирующих гравитационное сжатие облаков. Это следует из наблюдений молекулярных облачных комплексов, связанных с ОВ-ассоциациями. Детальное изучение ближайших ОВ-ассоциаций показало, что они состоят из подгрупп различных возрастов. Например, самая старая и одновременно самая протяжённая подгруппа молодых звёзд в созвездии Ориона (ОВ1) имеет возраст $\approx 12 \cdot 10^6$ лет, самая молодая $\approx 2 \cdot 10^6$ лет. В старых подгруппах меньше межзвёздного газа, в молодых — больше. Молодые ОВ-подгруппы расположены очень близко к молекулярным облакам. Изучение расположенных в молекулярных облачных комплексах H_2O -мазеров, ярких ИК-источников, областей интенсивного излучения молекул CO показало, что звёзды, по-видимому, возникают в плотных фрагментах, локализованных вблизи поверхностей молекулярных облаков (на расстоянии 1–4 пк от поверхности).

Такие же объекты — индикаторы звёздообразования — наблюдаются вблизи поверхностей ионизационных фронтов. По-видимому, формирование ОВ-подгрупп является некоторым систематическим процессом, который, «стартуя» на одном конце молекулярного облака, распространяется к противоположному. Различия возрастов близких подгрупп $\approx 3 \cdot 10^6$ лет, расстояния между ними $\approx 10\text{--}140$ пк. Можно считать, что процесс звёздообразования в ОВ-ассоциациях распространяется со скоростью $\approx 10 \text{ км}/\text{с}$.

К процессам, эффективно увеличивающим внешнее давление на молекулярные облака и стимулирующим их гравитационное сжатие, относят ударные волны, порождённые вспышками сверхновых звёзд; ионизационные фронты; волны плотности в галактиках; столкновения облаков; звёздный ветер. Роль вспышки сверхновой как триггерного механизма рассматривается, в частности, во многих гипотезах о происхождении Солнечной системы. Имеются и

другие теоретические соображения и основанные на наблюдениях доказательства того, что порождённые вспышками сверхновых ударные волны могут стимулировать звёздообразование. На это указывают, например, наблюдения окрестностей остатка вспышки сверхновой в созвездии Большой Пёс (CMR1).

Другой триггерный механизм, «включающий» звёздообразование, — спиральные волны плотности — характерен для спиральных галактик. Практически доказано, что наблюдаемая в нашей и подобных ей галактиках спиральная структура имеет волновую природу. Так как доля газа в Галактике мала (2–5% по массе), то волны плотности распространяются по звёздному населению — в спиральных рукавах концентрация звёзд повышается и гравитационный потенциал превышает среднее значение на 5–15%. Межзвёздный газ, попадая в зону действия гравитационного поля спиральной волны, приобретает дополнительную скорость по нормали к её фронту. Возникает скачок плотности — ударная волна, способная служить триггером для сжатия облаков газа, пересекающих границу спиральных ветвей Галактики. Спиральная волна плотности способствует развитию в газовых облаках неустойчивости Рэлея — Тейлора и образованию в них уплотнений. Действием этой волны объясняют также появление на внутренних краях спиральных рукавов тёмных полос — уплотнений пыли.

Существует мнение, что гигантские газовые комплексы в Галактике состоят из множества более мелких облаков, столкновения которых могут приводить либо к их слипанию, при котором общая масса объединившихся облаков становится больше M_J , либо к возникновению ударных волн, сжимающих газ. В любом случае оба процесса могут играть роль триггера для гравитационного сжатия и звёздообразования.

Ещё одним фактором, стимулирующим звёздообразование, может быть звёздный ветер. Энергия, уносимая, например, звёздным ветром за время жизни О-звезды ($\sim 10^{43}$ Дж), сравнима с энергией расширяющейся оболочки сверхновой II типа. Таким образом, сильный звёздный ветер должен

оказывать существенное дополнительное давление на межзвёздную среду и инициировать звёздообразование. Другим возможным триггером, увеличивающим внешнее давление на облака и формирующим подгруппы ОВ-звёзд, могут быть ионизационные фронты от О-звёзд. Излучение О-звёзд приводит к ионизации межзвёздного газа и к росту областей НII. Передняя граница области НII движется в виде ударной волны, за ней идёт ионизационный фронт. Вещество молекулярного облака, втекая в область между фронтами, быстро остывает благодаря излучению и становится изотермическим. С накоплением достаточно большой массы вещество оказывается гравитационно неустойчивым, что в конечном счёте может привести к образованию подгруппы ОВ-звёзд.

ЗВЁЗДОТРАСЕНИЕ — процесс, эквивалентный землетрясению, но происходящий в нейтронных звездах и объясняющий собой пульсаций или внезапные изменения периода некоторых пульсаров. От быстрого вращения нейтронные звезды-пульсары заметно сплюснуты вдоль оси вращения. В результате потери энергии на излучение их вращение постепенно замедляется, поэтому форма стремится стать более сферической. Некоторое время этому препятствует жёсткость твёрдой коры пульсара. Напряжение в коре возрастает, и наконец она ломается — это и есть звёздотрясение (starquake). Перестройка коры сопровождается перемещением её частей. Форма нейтронной звезды становится более сферической, отчего её момент инерции уменьшается, а угловая скорость скачком возрастает. Затем вновь следует медленное замедление вращения, которое приводит к новому звёздотрясению.

ЗВЁЗДЫ — гигантские самосветящиеся газовые шары, по своей природе сходные с Солнцем. Источником энергии излучения звёзд в основном служат термоядерные реакции (нормальные звёзды), хотя на некоторых этапах эволюции это может быть энергия гравитационного сжатия (формирующиеся звёзды), тепловая энергия (белые карлики) и энергия вращения (нейтронные звёзды). Внешние слои нормаль-

ных звёзд имеют сходный химический состав: на 1000 атомов водорода приходится около 100 атомов гелия и 2–3 атома более тяжёлых элементов. Недра молодых звёзд имеют такой же состав, но в ходе протекания термоядерных реакций он меняется: к концу эволюции звёзды малой массы приобретают гелиевое ядро, а массивные звёзды – слоистое ядро из гелия, углерода, кислорода... вплоть до железа в центре ядра. Диапазон масс известных звёзд простирается приблизительно от 0,1 до $100 M_{\odot}$ ($M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ кг); температура поверхности – от 1500 до 200 000 К; светимость – от 10^{-4} до 10^6 светимостей Солнца ($L_{\odot} = 4 \cdot 10^{26}$ Вт).

Имена и обозначения звёзд служат для идентификации небесных светил. Система обозначения звёзд складывалась в течение нескольких тысячелетий. В ней много традиционных элементов, но постоянно возникают и новые. Сегодня именем звезды считается любой её однозначный идентификатор, например номер в каталоге или координаты. В нашей Галактике более 100 млрд звёзд. Около 1% из них занесено в каталоги, а остальные безымянны и даже не считаны. Однако у всех ярких звёзд и даже у многих слабых, кроме научного обозначения, есть собственное имя; эти имена они получили ещё в древности. Многие из ныне употребляемых имён звёзд (Альдебаран, Алголь, Денеб, Ригель и др.) имеют арабское происхождение. Сейчас известно около трёх сотен исторических имен звёзд. Часто это названия частей тех фигур, которые дали название всему созвездию: Фомальгаут (в созвездии Южная Рыба) – «рот рыбы», Денебола (в созвездии Лев) – «хвост льва», и т. д.

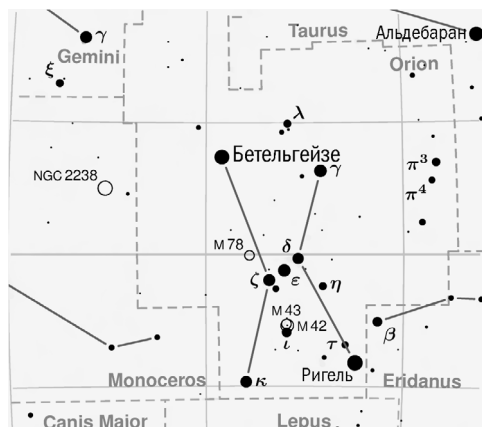
Начав в конце XVI в. детальное изучение неба, астрономы столкнулись с необходимостью иметь обозначения для всех без исключения звёзд, видимых невооружённым глазом, а позже – в телескоп. В книге Иоганна Байера (1572–1625) «Уранометрии» (Uranometria, 1603), где изображены созвездия и связанные с их названиями легендарные фигуры, звёзды впервые были обозначены буквами греческого алфавита приблизительно в порядке убывания их блеска: α – ярчайшая звезда созвездия, β – вторая по блеску и т. д. Если не хватало греческих букв,

Яркие звёзды

Обозначения: m_v – блеск в звёздных величинах; у двойных звёзд с компонентами сравнимой светимости в спектре видны две системы линий); r – расстояние; L_v – светимость.

Звезда и её обозначение в созвездии	m_v	Спектр. класс с классом светимости	r , пк	$L_v/L_{\odot}$
Солнце	–	G2V	–	1
Сириус α CMa	–1,46	A1Vm	2,6	21
Канопус α Car	–0,72	F0II	100	16 000
Толиман α Cen	–0,29	G2V + K1V	1,3	1,9
Арктур α Boo	–0,04	K1.5IIIp	11,2	110
Vega α Lyr	0,03	A0Va	7,8	50
Капелла α Aur	0,08	G5III + G0III	13,0	134
Ригель β Ori	0,13	B8Ia	250	45 000
Процион α CMi	0,38	F5IV–V	3,5	7,3
Ахернар α Eri	0,46	B3Vpe	43,5	1000
Бетельгейзе α Ori	0,50	M2Iab	125	8400
Хадар β Cen	0,61	B1III	170	14 000
Акрукс α Cru	0,76	B0.5IV + B1V	100	4200
Альтаир α Aql	0,77	A7V	5,2	11
Альдебаран α Tau	0,85	K5III	20	160
Антарес α Sco	0,91	M1.5Iab + B4Ve	200	4000
Спика α Vir	0,98	B1III–IV + B2V	83	2400
Поллукс β Gem	1,14	K0IIIb	10,3	31
Фомальгаут α PsA	1,16	A3V	7,7	17
Мимоза β Cru	1,25	B0.5III	110	3200
Денеб α Cyg	1,25	A2Ia	1000	270 000

Байер использовал латинские. Полное обозначение звезды по системе Байера состоит из буквы и латинского названия созвездия. Например, Сириус – ярчайшая звезда Большого Пса (Canis Major) – обозначается как α Canis Majoris, или сокращённо α CMa. Алголь, вторая по яркости звезда в Персее, обозначается как β Persei, или β Per. Позже Джон Флемстид (1646–1719), первый Королевский астроном Англии, занимавшийся определением точных координат звёзд, ввёл систему их обозначения, не связанную с блеском. В каждом созвездии он обозначил звёзды номерами в порядке увеличения их прямого восхождения, т. е. в том порядке, в котором они пересекают небесный меридиан. Так, Арктур, он же α Волопаса (α Bootis), обозначен по Флемстиду как 16 Bootis. На современных картах звёздного неба обычно нанесены древние собственные имена ярких звёзд (Сириус, Кано-



Часть карты звёздного неба
с обозначениями ярких звёзд

пус...) и греческие буквы по системе Байера. Обозначения Байера латинскими буквами используют редко. Остальные, менее яркие, звёзды обозначают цифрами по системе Флемстида.

По мере публикации все более глубоких каталогов звёздного неба, содержащих данные о более тусклых звёздах, в научную практику регулярно вводятся новые системы обозначения, принятые в каждом из этих каталогов. Поэтому весьма серьёзную проблему представляет кросс-идентификация звёзд в разных каталогах: ведь одна и та же звезда может иметь десятки различных обозначений. Создаются специальные базы данных, облегчающие поиск сведений о звезде по различным её обозначениям; наиболее полные такие базы поддерживаются в Центре астрономических данных в Страсбуре.

Некоторые выдающиеся (но отнюдь не самые яркие) звёзды иногда называют именами астрономов, впервые описавшими их уникальные свойства. Например, Летящая звезда Барнарда названа в честь американского астронома Эдуарда Эмерсона Барнарда (1857–1923), обнаружившего её рекордно быстрое собственное движение на небе. Вторая по скорости собственного движения — звезда Каптейна, названная в честь обнаружившего этот факт нидерландского астронома Якобуса Корнелиуса Каптейна (1851–1922). Известны также Гранатовая звезда Гершеля (μ Ser, очень красная звез-

Имена, обозначения и блеск наиболее известных звёзд*

Имя	Обозначение	Блеск, зв. величина
Акрукс	α Cru	0,8
Алгениб	γ Peg	2,8
Алголь	β Per	2,1–3,4
Алиот	ε UMa	1,8
Альбиро	β Cyg	3,0
Альдебаран	α Tau	0,9
Альдерамин	α Cep	2,5
Алькор	80 UMa	4,0
Альтаир	α Aql	0,8
Альциона	η Tau	2,9
Антарес	α Sco	1,0
Арктур	α Boo	–0,04
Астеропа	21 Tau	5,3
Атлас	27 Tau	3,6
Ахернар	α Eri	0,5
Беллатрикс	γ Ori	1,6
Бенетнаш	η UMa	1,9
Бетельгейзе	α Ori	0,5
Vega	α Lyr	0,03
Гемма	α CrB	2,2
Денеб	α Cyg	1,3
Денебола	β Leo	2,1
Дубхе	α UMa	1,8
Канопус	α Car	–0,7
Капелла	α Aur	0,1
Кастор	α Gem	1,6
Майя	20 Tau	3,9
Маркаб	α Peg	2,5
Мерак	β UMa	2,4
Меропа	23 Tau	4,2
Мира	α Cet	3,1–12
Мирах	β And	2,1
Мицар	ζ UMa	2,1
Плейона	28 Tau	5,1
Поллукс	β Gem	1,1
Полярная	α UMi	2,0
Процион	α CMi	0,4
Регул	α Leo	1,4
Ригель	β Ori	0,2
Сириус	α CMa	–1,5
Спика	α Vir	1,0
Тайгета	19 Tau	4,3
Толиман	α Cen	–0,3
Фомальгаут	α PsA	1,2
Электра	17 Tau	3,7

*В основном это ярчайшие звёзды, а группа тусклых звёзд в созвездии Тельца: Альциона, Астеропа, Атлас, Майя, Меропа, Плейона, Тайгета и Электра — это знаменитые Плеяды.

да-гигант), звезда ван Маанена (ближайший одиночный белый карлик), звезда ван Бисбрука (светило рекордно малой массы), звезда Пласскетта (рекордно массивная двойная звезда), звезда Бэбкока (с рекордно сильным магнитным полем) и ещё некоторые, около двух десятков замечательных звёзд. Эти имена никем не утверждены, их используют неофициально как знак уважения к работе учёных.

ЗВЁЗДЫ ВОЛЬФА—РАЙЕ (WR) — горячие звёзды очень высокой светимости, с яркими и широкими спектральными линиями водорода, нейтрального и ионизованного гелия, а также азота, углерода, кислорода в разных стадиях ионизации (NIII–NV, CIII–CIV, OIII–OV). Открыты в 1867 г. французскими учёными Ш. Вольфом (Charles Joseph Étienne Wolf, 1827–1918) и Ж. Райе (Georges-Antoine-Pons Rayet, 1839–1906). Ширины линий в спектрах звёзд Вольфа—Райе достигают 5–10 нм, а интенсивности в центре линий иногда в 10–20 раз превосходят интенсивность соседних участков непрерывного спектра. Главная наблюдательная особенность этих звёзд, наряду с огромными ширинами и интенсивностями эмиссионных линий, — одновременное присутствие в их спектрах сравнительно низкотемпературного континуума (цветовая температура непрерывного излучения в видимой области спектра 10–20 тыс. К) и линий атомов и ионов с высокими (до 100 эВ) потенциалами ионизации, соответствующих температуре до 100 тыс. К. Абсолютные звёздные величины звёзд Вольфа—Райе достигают $-6,8^m$.

Спектрами, характерными для звёзд Вольфа—Райе, обладают также ядра некоторых планетарных туманностей. Массы и светимости этих ядер много меньше, чем у «классических» звёзд Вольфа—Райе. Аналогичные спектры наблюдаются также у новых звёзд спустя некоторое время после вспышки.

Звёзды Вольфа—Райе подразделяют на две последовательности: азотную (WN) и углеродную (WC). В спектрах звёзд первой последовательности в основном содержатся линии азота, а в спектрах второй — линии углерода и кислорода. В спектрах звёзд обеих последовательностей присутствуют ли-

нии гелия и водорода, однако линии водорода слабы; оценки относительного химического состава неизменно показывают, что атомов водорода в атмосферах звёзд Вольфа—Райе в несколько раз меньше, чем атомов гелия. Пока не ясно, что служит причиной разделения этих звёзд на последовательности WN и WC — реальное различие химического состава или различие в структуре и температуре их атмосфер.

Из анализа около полутора десятков спектрально-двойных звёзд Вольфа—Райе со спутниками — звёздами спектральных классов O–B (WR + OB) — найдено, что массы звёзд Вольфа—Райе в среднем близки к $10 M_{\odot}$. У трёх звёзд Вольфа—Райе азотной последовательности массы оказались равными приблизительно 30, 45 и $65 M_{\odot}$, а у одной звезды углеродной последовательности $\approx 20 M_{\odot}$. В большинстве известных систем WR + OB массы звёзд Вольфа—Райе меньше масс спутников (известно три случая, когда масса звёзд Вольфа—Райе превышает массу спутника OB).

Спектроскопические данные свидетельствуют, что из звёзд Вольфа—Райе происходит мощное истечение вещества. Ширины эмиссионных линий соответствуют скоростям истечения ≈ 1000 – 2000 км/с, что при средних характеристиках этих звёзд превышает параболическую скорость (т. е. звезда теряет вещество). Скорость потери массы звёздами Вольфа—Райе, оцениваемая из анализа спектроскопических данных, составляет 10^{-6} – $10^{-4} M_{\odot}$ в год. Эта оценка сильно зависит от принятой модели истечения (ускоренное, замедленное) и от локализации областей формирования эмиссионных линий в протяжённой атмосфере. Анализ изменения периода двойной системы V444 Cyg со звездой Вольфа—Райе WN5 позволил прямо оценить скорость потери массы. Она составила $(1,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} M_{\odot}$ в год.

Исследования затмений в двойной системе V444 Cyg в широком диапазоне спектра (246–3500 нм) показали, что радиус «ядра» WN5 (определяемый по уровню, на котором радиальная оптическая толщина в УФ-области спектра равна единице) близок к $3R_{\odot}$, а его цветовая и яркостная температура $\approx 90\,000$ К. Соответствующая болометриче-

ская светимость звезды равна $2 \cdot 10^{32}$ Вт (т. е. в 10^6 раз превышает светимость Солнца) и близка к критической светимости для гелиевой звезды массой $10M_{\odot}$.

На диаграмме Герцшпрунга — Рассела звёзды Вольфа — Райе с наиболее надёжно определёнными характеристиками лежат в области между главной последовательностью и последовательностью однородных гелиевых звёзд. Это свидетельствует о том, что звёзды Вольфа — Райе находятся на поздней стадии эволюции и уже прошли стадию главной последовательности (водород в них «выгорел»). Тот факт, что менее массивные компоненты двойных систем WR + OB находятся на более поздней стадии эволюции, можно объяснить гипотезой перемены ролей компонентов в результате обмена веществом компонентов тесной двойной системы. Первоначально более массивный компонент эволюционирует быстрее спутника и, расширяясь после исчерпания водорода в ядре и загорания слоевого водородного источника, заполняет свою полость Роша. Происходит быстрое (за $\sim 10^4$ лет) перетекание значительной части (до 70%) вещества к спутнику. После потери водородной оболочки остаётся горячая гелиевая звезда с примесью водорода в наружных слоях ($\approx 20\%$ по массе), которая становится звездой Вольфа — Райе. Результаты детальных расчётов эволюции массивных тесных двойных систем с обменом масс показали, что содержание углерода в оболочке молодой звёзды Вольфа — Райе может быть невелико по сравнению с содержанием азота в результате CNO-реакций. По мере истечения вещества обнажаются глубокие слои, обогащённые углеродом, и звезда азотной последовательности может превратиться в звезду углеродной последовательности.

Время жизни звезды Вольфа — Райе сравнительно невелико ($\sim 10^5$ – 10^6 лет); по истечении ядерного топлива она взрывается как сверхновая, образуя релятивистский объект — нейтронную звезду или чёрную дыру. Поскольку взрывается менее массивный компонент, распад двойной системы маловероятен, она остаётся двойной. После выгорания водорода во втором компоненте и заполнения им полости Роша начина-

ется аккреция вещества на релятивистский объект. Пока второй компонент близок к заполнению полости Роша, но не целиком заполняет её, тесная пара (двойная система с OB-сверхгигантом) наблюдается как «классический» рентгеновский источник. При заполнении своей полости Роша второй компонент истекает в столь высоком темпе, что аккреционный диск вокруг релятивистского объекта становится непрозрачным для рентгеновского излучения. При этом двойная система может на 10^3 – 10^4 лет погрузиться в общую оболочку, после сброса которой остаётся молодая вторая звезда Вольфа — Райе азотной последовательности в паре с релятивистским объектом. Сброс оболочки вызывается динамическим торможением двойного ядра, в результате чего образуется кольцевая туманность, обтекаемая звёздным ветром звезды Вольфа — Райе.

Таким образом, стадия звезды Вольфа — Райе в двойной системе может иметь место дважды — до стадии рентгеновской двойной системы и после этой стадии. Признаки двойственности у звёзд Вольфа — Райе в центрах кольцевых туманностей, а также большое расстояние некоторых из них от галактической плоскости (что может быть следствием импульса, полученного двойной системой при взрыве сверхновой) говорят в пользу описанной схемы эволюции двойных звёзд этого типа.

Другой возможный путь эволюции предложен для одиночных массивных звёзд Вольфа — Райе. Расчёты показывают, что эволюция массивной ($\approx 30M_{\odot}$) звезды на стадии горения водорода происходит без существенной потери массы. На стадии горения гелия, т. е. после ухода в область красных сверхгигантов, устойчивость внешних слоёв звезды нарушается из-за избыточной светимости. В результате начинается мощное истечение вещества (до $0,5M_{\odot}$ в год), образуется звёзда Вольфа — Райе, в окрестности которой должны оставаться большие ($\approx 20M_{\odot}$) массы выброшенного газа.

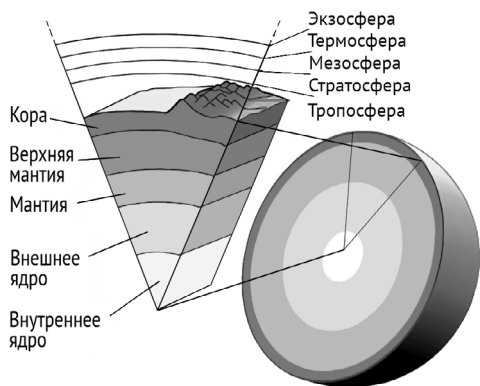
Таким образом, данные наблюдений и теория эволюции двойных и одиночных звёзд позволяют считать, что звёзды Вольфа — Райе — это гелиевые остатки первоначально массивных звёзд, которые быстро

«постарели» в результате интенсивной потери массы на определённом этапе эволюции. Особенности спектров звёзд Вольфа – Райе связаны с наличием горячего «ядра» и протяжённой, расширяющейся со скоростями ~ 1000 км/с атмосферы, в которой формируются эмиссионные линии различных ионов и мощный сравнительно низкотемпературный непрерывный спектр.

ЗВЁЗДЫ С ОБЩЕЙ ОБОЛОЧКОЙ – тесные двойные системы, в которых относительно массивная звезда-донор отдаёт вещество быстрее, чем может «переварить» меньшая звезда. В результате переносимое вещество постепенно переполняет полость Роша маленькой звезды и образует общую оболочку вокруг двух звёзд. Сопротивление трения между общей оболочкой и звёздами вынуждает звёзды сближаться по спирали и разрушать оболочку. В этом случае компоненты двойной системы могут сильно приблизиться друг к другу (от расстояния в сотни а. е. с периодами в десятки лет до расстояний в несколько радиусов звезды с периодами в несколько часов). Одной из звёзд, которая сбрасывает общую оболочку, может быть звезда η Киля (η Car).

ЗЕЛЁНЫЙ ЛУЧ, или **зелёная вспышка**, – зеленоватый ободок, иногда наблюдаемый над верхним краем солнечного диска в момент его восхода или захода за горизонт. Возникает из-за того, что преломление лучей света в атмосфере Земли (рефракция) сильнее приподнимает над горизонтом коротковолновые – зелёные и голубые – лучи Солнца, но голубые лучи сильно рассеиваются в атмосфере, поэтому обычно виден только краешек зелёного изображения светила, когда все прочие цвета уже скрылись за горизонтом. Впрочем, очень редко удавалось заметить и явление «голубого луча».

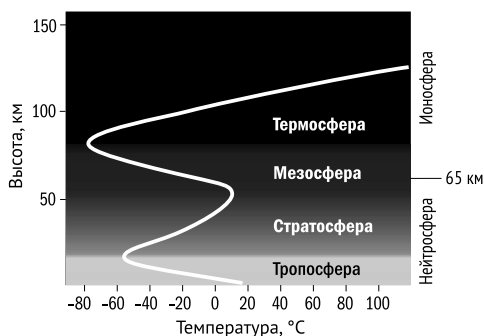
ЗЕМЛЯ – планета Солнечной системы, третья от Солнца, удалённая от него в среднем на 149,6 млн км (1,00 а. е.), с периодом обращения в 1 год. Естественный спутник один (Луна). Масса $M = 5,9736 \cdot 10^{24}$ кг; средний радиус $R = 6371,032$ км; полярный радиус 6356,8 км, экваториальный 6378,1 км, сжатие около $1/300$. Средняя плотность $5,515$ г/см³. Период осевого вращения (звёздные сутки) равен $0,99727$ сут = 23 ч 56 мин 04,1 с.



Земля: основные слои твёрдого тела и атмосферы

Земля отличается от всех других планет Солнечной системы наличием гидросферы и биосферы, а также большой динамической активностью коры и атмосферы. Структура твёрдой части: кора – самая внешняя и тонкая (10–100 км) твёрдая оболочка с плотностью $2,8$ г/см³; мантия, которая делится на верхнюю (толщина 850–900 км) и нижнюю, в которой температура близка к точке плавления её вещества (до глубины около 3000 км); ядро, которое подразделяется на внешнее (жидкое) и внутреннее (твёрдое ядро – плотность в центре $12,5$ г/см³, температура 4000–5000 К).

Атмосфера Земли (воздух) в основном содержит азот и кислород с малыми примесями других газов. Состав атмосферы (% объёма) – N_2 (78), O_2 (21), Ar (0,9), CO_2 (0,03). Средняя температура воздуха у поверхности $15^\circ C$, атмосферное давление на уровне моря 1 бар ≈ 101 кПа. Плотность воздуха у поверхности $1,22$ кг/м³. Тепловой баланс поддерживает температуру Земли в средних и экваториальных широтах на уровне, оптимальном для существования теплокровных организмов. Нижний слой атмосферы (тропосфера) имеет толщину от 9 км у полюсов до 17 км у экватора. Источником тепла тропосферы служит земная поверхность, нагретая лучами Солнца, поэтому температура воздуха в тропосфере уменьшается с высотой. Над тропосферой до высоты 50–55 км лежит стратосфера, в которой температура растёт с высотой, особенно быстро на высотах более 20–25 км. Источником её тепла служит озон (O_3), в ос-



Ход температуры в земной атмосфере

новном сконцентрированный на высотах от 30 до 40 км и поглощающий ультрафиолетовое излучение Солнца в области спектра от 200 до 300 нм. Озон в верхней атмосфере служит своеобразным щитом, охраняющим биосферу от действия ультрафиолетового излучения Солнца.

На высоте около 50 км имеется широкий температурный максимум — мезосфера. Над мезосферой расположен температурный минимум — мезопауза. Выше температура вновь начинает расти за счёт энергии солнечного ультрафиолета, поглощаемого при ионизации атомарного кислорода на высотах 150–300 км. Над мезопаузой температура растёт монотонно до высоты около 400 км, где в эпоху максимума солнечной активности днём она достигает 1800 К, а в эпоху минимума опускается до 1000 К, а порой и ниже. Выше 400 км атмосфера изотермична (термосфера). Ионизованные слои атмосферы начиная с высот 100–120 км образуют ионосферу, где концентрация ионов и электронов одинакова и плазма в целом нейтральна; на высоте 300 км днём она составляет около 10^6 ионов в 1 см^3 . Плазма такой плотности отражает радиоволны длиной более 20 м и пропускает более короткие.

Магнитное поле у поверхности Земли в среднем имеет индукцию $0,4\text{ Гс} = 4 \cdot 10^{-5}\text{ Тл}$. Его конфигурация в первом приближении дипольная с магнитным моментом около $8 \cdot 10^{15}\text{ А} \cdot \text{м}^2 = 8 \cdot 10^{15}\text{ Тл} \cdot \text{м}^3 = 8 \cdot 10^{25}\text{ Гс} \cdot \text{см}^3$. Магнитные полюсы эквивалентного диполя не совпадают с географическими (см. *Магнитное поле Земли и Магнитные полюсы*). Через интервалы времени от 500 тыс. до 50 млн лет магнитное поле Земли меняет

направление на обратное. На больших расстояниях от Земли форма её магнитного поля искажается под действием солнечного ветра. В магнитном поле Земли вне атмосферы удерживается огромное количество заряженных частиц, которые образуют радиационные пояса Земли.

ЗЕНИТНОЕ ЧАСОВОЕ ЧИСЛО МЕТЕОРОВ

— количество метеоров, которое заметил бы наблюдатель невооружённым глазом за 1 час на всей полусфере неба при идеальных атмосферных условиях, если бы радиант метеорного потока располагался в зените. Реально замечаемое одним наблюдателем число метеоров всегда меньше этой цифры в 3–4 раза.

ЗМЕЕНОСЕЦ, или **Офиух**, — экваториальное созвездие. Лежит к югу от созвездия Геркулес. Созвездие не считается зодиакальным, но Солнце проводит в нём около 20 дней в первой половине декабря. Греческие мифы связывают созвездие Змееносец с именем Асклепия — бога врачевания. Хотя созвездие частично лежит в Млечном Пути, ярких звёзд в нём мало. Именно в этом созвездии вспыхнула последняя из наблюдавшихся в нашей Галактике сверхновых, описанная И. Кеплером в 1604 г. Повторная новая звезда RS Змееносца (RS Oph) вспыхивала в 1898, 1933, 1958, 1967, 1985 и 2006 гг. Её блеск в спокойном состоянии около $12,5^m$, а во время вспышек в среднем достигает 5^m . У восточной границы созвездия находится Летящая звезда Барнарда — красный карлик, чьё малое расстояние (6 св. лет) делает его вторым от Солнца после системы α Сеп, а довольно высокая скорость движения в совокупности с малым расстоянием — самой быстрой на небе звездой ($10,3''/\text{год}$). В Змееносце много шаровых скоплений (Мессье 9, 10, 12, 14, 19 и 62), а также тёмных туманностей, таких как туманность Трубка (B78 представляет чашечку трубки, а B59, 65, 66 и 67 образуют её чубук и мундштук).

ЗМЕЯ — экваториальное созвездие, состоящее из двух частей, примыкающих к «рукам» Змееносца, поскольку первоначально входило в его состав. Голова Змеи (Serpens Caput) лежит к северо-западу от Змееносца, а Хвост Змеи (Serpens Cauda) — к юго-востоку.

ЗНАКИ ЗОДИАКА (англ. *astrological sign* или *sun sign*) — в исходном виде графические знаки, обозначающие 12 канонических зодиакальных созвездий. У астрологов это 12 секторов по 30°, на которые разбита эклиптика начиная с текущей точки весеннего равноденствия. Астрологические знаки зодиака носят названия зодиакальных созвездий, через которые соответствующие секторы эклиптики проходили около 2000 лет назад. В соответствии с современными границами созвездий эклиптика пересекает теперь не 12, а 13 созвездий: к «классической дюжине» добавился Змееносец, но соответствующего ему знака зодиака не существует. В результате прецессии точка весеннего равноденствия за прошедшие с античности два тысячелетия переместилась на ~30° — из созвездия Телец через Овен в Рыбы. Это привело к кажущемуся смещению всего зодиакального ряда созвездий на два «деления» (поскольку отсчёт по традиции начинается от созвездия, в котором расположена точка весеннего равноденствия). Например, Рыбы поначалу были 11-м зодиакальным созвездием, а теперь — первое; Телец был первым — стал третьим.

Примерно в 2600 г. точка весеннего равноденствия переместится из Рыб в Водолей, и тогда это созвездие станет первым в зодиаке. Однако у астрологов каждому знаку зодиака по-прежнему соответствует символ, связанный с именем созвездия, располагавшегося в этом знаке 2000 лет назад.

В современной научной практике два знака зодиака используются для обозначения точек весеннего (знак Овна) и осеннего (знак Весов) равноденствий. И ещё один (знак Льва в прямом и перевёрнутом виде) используется для обозначения соответственно восходящего и нисходящего узлов орбиты небесных тел.

ЗОДИАК — зона на небе шириной по 9 угловых градусов (9°) в обе стороны от эклиптики, содержащая видимые пути Солнца, Луны и планет. Эта полоса проходит через 13 современных созвездий и делится на 12 знаков зодиака. Название этой области происходит от греческого слова «зоон» — животное, поскольку большинство зодиакальных созвездий названо в честь животных.

Знаки зодиака

Символ	Название	Эклиптическая долгота
♈	Овен	0°–30°
♉	Телец	30°–60°
♊	Близнецы	60°–90°
♋	Рак	90°–120°
♌	Лев	120°–150°
♍	Дева	150°–180°
♎	Весы	180°–210°
♏	Скорпион	210°–240°
♐	Стрелец	240°–270°
♑	Козерог	270°–300°
♒	Водолей	300°–330°
♓	Рыбы	330°–360°

Даты вступления Солнца в границы созвездий и в одноимённые знаки зодиака в 2010 г. В другие годы эти даты могут отличаться на 1–2 дня

Созвездие	Дата вступления Солнца	
	в созвездие	в знак зодиака
Козерог	19 января	21 декабря
Водолей	15 февраля	19 января
Рыбы	11 марта	17 февраля
Овен	18 апреля	19 марта
Телец	13 мая	19 апреля
Близнецы	20 июня	20 мая
Рак	20 июля	20 июня
Лев	10 августа	22 июля
Дева	16 сентября	22 августа
Весы	30 октября	22 сентября
Скорпион	22 ноября	23 октября
Змееносец	29 ноября	—
Стрелец	17 декабря	21 ноября

ЗОДИАКАЛЬНЫЕ СОЗВЕЗДИЯ — 12 традиционных созвездий, через которые проходит эклиптика — видимый путь Солнца среди звёзд в течение года: Овен, Телец, Близнецы, Рак, Лев, Дева, Весы, Скорпион, Стрелец, Козерог, Водолей, Рыбы. По древней традиции созвездие Змееносец к зодиакальным не причисляют.

ЗОДИАКАЛЬНЫЙ СВЕТ — слабое свечение на небе, простирающееся вдоль эклиптики, т. е. в области зодиака, с чем и связано название этого явления. Это свечение возникает из-за рассеяния солнечного света на межпланетной пыли, сконцентрированной в плоскости Солнечной системы.

ЗОЛОТАЯ РЫБА — южное созвездие, выделенное И. Байером в 1603 г. В нём, у границы

с созвездием Столовая Гора, видна галактика Большое Магелланово Облако (БМО), протянувшаяся по небу на 11° и удалённая от нас на 190 000 св. лет (т. е. она в десять раз ближе к нам, чем Туманность Андромеды). Это замечательный объект, богатый молодыми звёздами, скоплениями и туманностями; недаром Дж. Гершель называл его «цветущим оазисом, окружённым со всех сторон пустыней». Наиболее интересное место в БМО — туманность Тарантул (NGC 2070), крупнейшая среди известных эмиссионных туманностей (диаметр 1800 св. лет и масса 500 000 солнечных). Астрономы прошлых столетий принимали её за яркую звезду и дали ей звёздное обозначение — 30 Dor. Лишь позже мы узнали, что это гигантский звёздный архипелаг в соседней галактике.

В самом сердце Тарантула располагается чрезвычайно плотное скопление R136 из очень молодых и массивных звёзд, которое в конце XX в. приковало внимание астрономов. Возникло подозрение, что там находится чудовищная звезда в 2000 раз массивнее Солнца. Теория строения звёзд не допускает существования столь массивных светил. Действительно, самые зоркие телескопы смогли показать, что это не одна звезда, а очень плотное скопление, в котором доминируют несколько чрезвычайно редких звёзд массой более $50 M_\odot$, причём крупнейшая из них в 300 раз массивнее Солнца, что тоже является вызовом теории. Рядом с туманностью Тарантул 23 февраля 1987 г. произошла вспышка сверхновой звезды. Это ближайшая вспышка сверхновой, наблюдавшаяся с момента изобретения телескопа.

ЗОНА ЖИЗНИ (зона возможной жизни) — диапазон расстояний от звезды, внутри которого планета земного типа может иметь температуру поверхности от 0 до 100°C . Это позволяет существовать на планете жидкой воде, что считается необходимым условием для жизни. В английском языке термину «зона жизни» (иногда её называют экосферой или обитаемой зоной) соответствует термин «Habitable zone», который в популярной литературе нередко заменяют на «Goldilocks Zone» или «Comfort zone». Имеет-ся в виду сказка о Златовласке (Goldilock),

сюжет которой близок к русской сказке «Маша и три медведя». Температура на поверхности планеты земного типа, имеющей сравнительно разреженную атмосферу, в основном зависит от мощности звезды и расстояния до неё. Но она зависит также и от свойств поверхности планеты и параметров её атмосферы (см. *Парниковый эффект*).

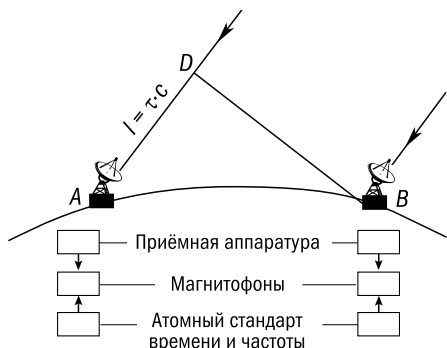
И

ИМЕНА АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ — см. *Открытие астрономических объектов и присвоение им имён*.

ИНДЕЕЦ — южное созвездие, введенное И. Байером в 1603 г. как образ американского индейца. В нём мало интересных объектов.

ИНТЕРФЕРОМЕТР — прибор, использующий два телескопа (или более) для достижения высокого углового разрешения. В радиодиапазоне интерферометры используются с 1950-х гг.; в инфракрасном оптическом диапазонах интерферометры начали работать около 2000 г. (например, на системах телескопов «Кек» и VLT). Принцип работы состоит в сложении выходных пучков от двух или более независимых телескопов, направленных на один и тот же объект. Выходные пучки интерферируют друг с другом в степени, определяемой меняющейся мгновенной разностью хода между ними. Из-за суточного движения объекта разность хода непрерывно изменяется, поэтому выходной сигнал интерферометра осциллирует. Анализируя характер осцилляций, получают информацию об объекте с высоким угловым разрешением, близким к дифракционному для объектива, размер которого равен расстоянию между телескопами. С помощью интерферометра сравнительно легко можно измерить угловое разделение двойного источника, однако более сложные источники, как и синтез изображений с высоким угловым разрешением, требуют применения более сложных методов обработки сигнала с использованием преобразования Фурье. Эффективной работе оптического интерферометра мешает нестабильность земной атмосферы, нейтрализовать которую помогает система адаптивной оптики.

ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ СО СВЕРХДЛИННОЙ БАЗОЙ — метод значительного увеличения разрешающей способности радиотелескопов. Радиointерферометр со сверхдлинной базой (РСДБ) представляет собой интерферометр радиодиапазона, имеющий длину базы вплоть до нескольких тысяч километров. Хотя теоретические основы работы РСДБ те же, что и в случае систем меньшего размера, практика работы РСДБ имеет ряд отличий. Каждая из антенн, составляющих РСДБ, одновременно с другими антеннами выполняет запись сигнала от изучаемого объекта и на тот же носитель записывает метки времени своих атомных часов (обычно это водородный стандарт частоты). Затем записи отдельных антенн сводятся воедино, а метки времени используются для правильной их синхронизации при объединении. Метод РСДБ при расположении антенн на поверхности Земли позволяет достигать углового разрешения в доли миллисекунды дуги. В перспективе планируется вынос антенн за пределы Земли, что существенно увеличит разрешающую способность. Первые эксперименты в этом направлении уже ведутся.



Принципиальная схема радиointерферометра со сверхдлинной базой. АВ — база, AD — разность хода

ИНФЛЯЦИЯ, а также **теория инфляции** и **инфляционная космология** — модификация стандартной космологической модели Большого взрыва, предполагающая, что на самом раннем этапе своей эволюции (10^{-43} – 10^{-37} с) Вселенная претерпела колоссальное расширение, которое привело к экспоненциальному росту всех масштабов. Это позволяет разрешить некоторые пара-

доксы классической космологии: почему Вселенная плоская (т. е. её пространство евклидово), почему в больших масштабах она однородна и изотропна, почему в ней всё же были малые неоднородности, приведшие к рождению галактик, и т. п.

ИНФЛАТОН (инфлантон, инфлятон) — гипотетическое скалярное поле, существование которого предполагается в теории инфляции. Считается, что в первые мгновения эволюции Вселенной фазовый переход инфлатона в состояние с более низкой потенциальной энергией вызвал ускоренное «раздувание» (инфляцию) пространства.

ИНФРАКРАСНАЯ АСТРОНОМИЯ — исследование космических объектов в диапазоне волн длиной от 2500 нм до долей миллиметра. Это «дальний» ИК-диапазон, для которого атмосфера Земли непрозрачна и изучать который можно только с борта космических аппаратов. Инфракрасное излучение испускают холодный газ и пыль при температуре от 1000 К и ниже, вплоть до нескольких градусов над абсолютным нулём, поэтому сам инфракрасный телескоп и его детекторы должны быть охлаждены до очень низкой температуры, часто лишь на несколько градусов выше абсолютного нуля. Это достигается применением пассивного охлаждения в дьюарах с жидким гелием. Продолжительность работы инфракрасного астрономического спутника не превышает нескольких лет, поскольку жидкий гелий испаряется.

ИНФРАКРАСНЫЕ ОКНА — узкие области инфракрасного диапазона, в пределах которых атмосфера Земли частично пропускает излучение из космоса. Центральные длины волн главных инфракрасных окон: 1,25; 1,65; 2,22; 3,6; 5; 10 и 21 мкм.

ИНФРАКРАСНЫЙ ДИАПАЗОН — диапазон электромагнитного излучения, расположенный на шкале электромагнитных волн между видимым и микроволновым излучением. Инфракрасный диапазон простирается по длине волны от 700 нм до 100 мкм, по частоте — от $3 \cdot 10^{12}$ Гц до $8,6 \cdot 10^{14}$ Гц.

ИО (J I, Io) — естественный спутник Юпитера; один из четырёх галилеевых спутников. Большая полуось орбиты 421,7 тыс. км. Орбитальный период 1,76914 сут. Эксцентри-

ситет орбиты 0,0041. Средняя орбитальная скорость 17,33 км/с. Наклонение орбиты к плоскости экватора Юпитера 0,05°. Масса $8,93 \cdot 10^{22}$ кг. Диаметр 3643 км. Средняя плотность $3,528 \text{ г/см}^3$. Ускорение свободного падения у поверхности $1,8 \text{ м/с}^2$. Вторая космическая скорость у поверхности 2,56 км/с. Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Блеск 5,0^m, максимальное угловое расстояние от планеты 2'18" для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности 110 К; колебания от 90 К до 130 К.

ИОНИЗОВАННЫЙ ГАЗ, или **плазма**, — газ, полностью или частично состоящий из ионов и свободных электронов, присутствие которых обеспечивает высокую электропроводность вещества и его сильное взаимодействие с магнитным полем. Космическое вещество в основном находится в состоянии плазмы, поскольку из неё практически целиком состоят звёзды и в значительной степени межзвёздная среда.

ИОНОСФЕРА — внешние разреженные слои атмосферы планеты, ионизованные ультрафиолетовым и рентгеновским излучением Солнца, а также космическими лучами в основном солнечного происхождения.

ИОНОСФЕРА ЗЕМЛИ — область атмосферы Земли на высотах от 30 до 1000 км, содержащая частично ионизованную холодную плазму.

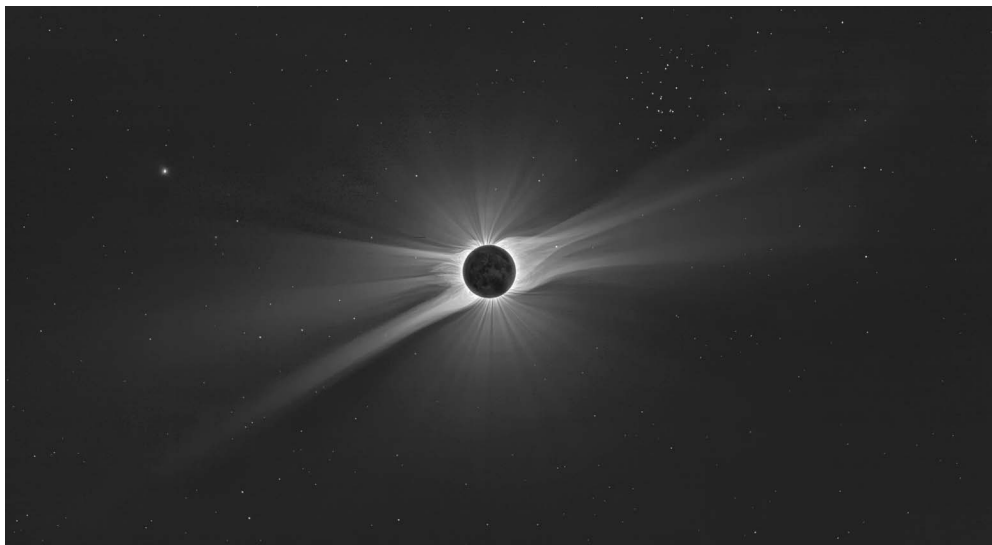
ИСКУССТВЕННАЯ ОПОРНАЯ ЗВЕЗДА (Artificial Guide Star или Laser Guide Star) — возбуждённое лучом лазера свечение небольшого участка верхних слоёв земной атмосферы, которое используется как опорная звезда при работе адаптивной оптической системы наземного телескопа. Как правило, для возбуждения используется лазер непрерывного действия с выходной мощностью в несколько ватт, настроенный на частоту резонансной линии натрия (например, $D_2\text{Na}$). Его луч фокусируется в атмосфере на высоте около 90 км в пятнышко размером около 1 м; там присутствует естественный слой, обогащённый натрием, свечение которого возбуждается лазерным лучом.

ИСПАРЕНИЕ ЧЁРНОЙ ДЫРЫ — процесс, в ходе которого чёрная дыра испускает ча-

стицы и излучение. Теоретически этот процесс предсказал английский физик Стивен Хокинг в 1975 г. (так называемое излучение Хокинга). В природе этот процесс пока не наблюдался.

ИСТЕЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВА ИЗ ЗВЕЗДЫ — безвозвратный уход разреженного вещества из верхних слоёв звёздной атмосферы в космическое пространство. Звёзды теряют массу на всех стадиях эволюции. Наблюдается истечение вещества из Солнца (солнечный ветер), из горячих звёзд (спектральных классов О и В), из красных и жёлтых гигантов и сверхгигантов, т. е. как из эволюционно молодых звёзд, так и из звёзд на поздней стадии эволюции. Более того, истечение вещества из звёзд начинается ещё до стадии главной последовательности — например, у молодых сжимающихся звёзд типа Т Тау. К объектам, образовавшимся в результате интенсивной потери массы звёздами-гигантами, относятся также планетарные туманности. Всё это говорит о важной роли истечения вещества для эволюции звёзд. Разумеется, известны случаи, когда звёзды демонстрируют захват (аккрецию) вещества из окружающего пространства. Но обычно для этого нужны особые условия (например, присутствие рядом другой звезды, теряющей вещество), тогда как истечение с поверхности звезды происходит под действием её внутренних процессов и поэтому характерно для большинства звёзд.

У Солнца скорости потерь массы равна $10^{11} - 10^{12} \text{ г/с}$ ($10^{-15} - 10^{-14} M_\odot$ в год). Поскольку полная длительность жизни Солнца составит около 10^{10} лет, истечение типа солнечного ветра уменьшает массу подобных звёзд не более чем на 0,01%, что несущественно для их эволюции. У горячих звёзд спектральных классов О и В, а также звёзд типа Вольфа — Райе и Р Лебеда (Р Cyg) потеря массы может достигать до $10^{-8} - 10^{-5} M_\odot$ в год. На значительную потерю массы указывает существование протяжённых разреженных газовых оболочек вокруг некоторых одиночных звёзд типа Вольфа — Райе. Поскольку время жизни таких звёзд, имеющих массу около $30 M_\odot$, составляет $10^6 - 10^7$ лет, потеря массы за это время оказывается значительной, особенно на поздних стадиях эво-



Корона Солнца — основа солнечного ветра. 1 августа 2008 г. Фото: M. Druckmüller, P. Aniol, V. Rušin. Снимок получен путём совмещения многих изображений, контраст усилен компьютерной обработкой.

люции. Для красных гигантов и сверхгигантов она может составлять 10^{-6} – $10^{-3} M_{\odot}$ в год. В результате интенсивной потери массы пространство вокруг таких звёзд заполняется газом, что может приводить к образованию планетарных туманностей.

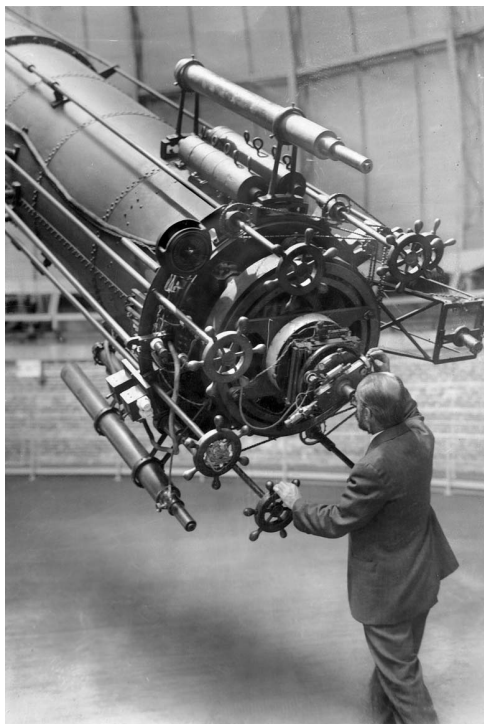
Молодые и формирующиеся звёзды также нередко демонстрируют мощное истечение вещества. Так, у звёзд типа Т Тау интенсивность потери массы составляет порядка $10^{-8} M_{\odot}$ в год.

Й

ЙЕРКСКИЙ РЕФРАКТОР — крупнейший в мире телескоп-рефрактор, имеющий диаметр объектива 40 дюймов (102 см). Строительство закончено в 1897 г. Установлен в Йеркской обсерватории (Вильямс Бей, шт. Висконсин), чуть севернее г. Чикаго, на берегу небольшого озера Женева. Назван в честь Чарльза Йеркса (Charles T. Yerkes, 1837–1905), пожертвовавшего средства на его создание. Обсерватория и рефрактор принадлежат Чикагскому университету.

Фокусное расстояние Йеркского рефрактора 19 м, при этом угол в $0,5''$, соответствующий высочайшей чёткости изображения при абсолютно спокойной атмосфере, эквивалентен расстоянию 37 мкм в фокаль-

ной плоскости. Примерно такого же размера и зерно фотоэмульсии. Поэтому такой телескоп может фиксировать на фотопластинках самые чёткие изображения. Кроме



Йеркский рефрактор и астроном Джордж ван Бисбрук у его окулярной части

того, визуально рассматривать в него крупные изображения тесных двойных звёзд и мелких деталей на поверхности планет очень удобно. Диаметр лунного диска в фокальной плоскости Йеркского рефрактора около 17 см. Размер фотопластинок у этого телескопа 20×25 см, так что полная Луна легко умещается на них.

К

КАЛЕНДАРЬ — система счисления промежутков времени, по продолжительности превышающих сутки. Можно сказать, что календарь — это способ деления года на удобные периодические интервалы времени. Слово «календарь» происходит от лат. *calendae*, «календы» — название первого дня каждого месяца у древних римлян. Основой календаря служит движение небесных светил, проявляющееся в периодических явлениях природы: смене дня и ночи (сутки), смене времён года (солнечный календарь), смене фаз Луны (лунный календарь).

Основные задачи календаря: а) фиксация дат и б) измерение интервалов времени. В задачу (а), например, входит регистрация дат природных явлений, как периодических — равноденствий, затмений, приливов, — так и непериодических, таких как землетрясения, наводнения, извержения вулканов. Календарь позволяет регистрировать исторические и общественные события в их хронологической последовательности. Одна из задач календаря — определение моментов церковных событий и «дрейфующих» праздников (например, Пасхи). Функция (б) календаря используется в общественной сфере и в быту, где процентные платежи, заработная плата и прочие деловые отношения основаны на определённых интервалах времени. Во многих статистических и научных исследованиях также используют календари. Разные народы на разных исторических этапах использовали разные календари. Например, в Европе последние два тысячелетия в основном использовали два календаря — юлианский и григорианский. *Юлианский календарь* («старый стиль») — летосчисление, введённое при Юлии Цезаре (46 г. до н. э.), состоящее из

трёх годов по 365 суток («обыкновенных») и четвёртого (номер которого для н. э. делится на 4, «високосного») в 366 суток; отставание юлианского календаря от солнечного составляет 1 сутки за 128 лет. *Григорианский календарь* («новый стиль») установлен в 1582 г. папой римским Григорием XIII, передвинувшим счёт на 10 суток вперёд, чтобы учесть ошибку, накопившуюся в юлианском календаре с момента его принятия на Никейском соборе в 325 г., для правила счисления Пасхалии. В григорианском календаре годы, числа которых оканчиваются на 00, стали считать високосными, только если число из первых двух цифр делится на 4: год 1600 — високосный, а 1900 — простой, в отличие от старого стиля). Отставание григорианского календаря от истинного солнечного составляет 1 сутки за 3280 лет.

Во всех календарях используются единицы счёта времени, основанные на периодических движениях астрономических объектов. Вращение Земли вокруг своей оси определяет длительность суток, обращение Луны вокруг Земли даёт продолжительность лунного месяца, а обращение Земли вокруг Солнца задаёт солнечный год. Познакомимся с этими единицами времени ближе.

Солнечные сутки. Видимое движение Солнца по небу задаёт истинные солнечные сутки как интервал между двумя последовательными прохождениями Солнца через меридиан в нижней кульминации. Если бы это движение отражало только вращение Земли вокруг своей оси, то оно происходило бы очень равномерно. Но оно связано также с неравномерным движением Земли вокруг Солнца и с наклоном земной оси, поэтому истинные солнечные сутки переменны. Для измерения времени в быту и в науке используется математически вычисленное положение «среднего солнца» и, соответственно, средние солнечные сутки, которые имеют постоянную длину. В большинстве стран начало суток приходится на 0 часов (полночь). Но это не всегда было так: в библейские времена, в Древней Греции и Иудее, а также в некоторые другие эпохи начало дня приходилось на вечернее время. У римлян в различные периоды начало дня приходилось на разное время суток.

Лунный месяц. Первоначально продолжительность месяца определялась периодом обращения Луны вокруг Земли, а точнее — синодическим лунным периодом, равным промежутку времени между двумя последовательными наступлениями одинаковых фаз Луны, например новолуний или полнолуний. Средний синодический лунный месяц (так называемая лунация) длится 29 сут 12 ч 44 мин 2,8 с. В библейские времена лунацию считали равной 30 сут, но римляне, греки и некоторые другие народы приняли как стандарт измеренную астрономами величину 29,5 сут. Лунный месяц — удобная в общественной жизни единица времени, поскольку она длиннее суток, но короче года. В древности Луна привлекала всеобщий интерес как инструмент для измерения времени, ибо весьма несложно наблюдать выразительную смену её фаз. Кроме этого, лунный месяц был связан с различными религиозными потребностями и поэтому играл важную роль при составлении календаря.

Год. В обыденной жизни, в том числе и при составлении календаря, под словом «год» понимают тропический год («год сезонов») — интервал между двумя последовательными прохождением Солнца через точку весеннего равноденствия. Сейчас его продолжительность составит 365 сут 5 ч 48 мин 45,6 с, причём каждые 100 лет она уменьшается на 0,5 с. Ещё древние цивилизации использовали этот сезонный год; по записям египтян, китайцев и других древних народов видно, что длина года вначале принималась равной 360 сут. Но уже довольно рано длину тропического года уточнили до 365 сут. Позже египтяне приняли его длину равной 365,25 сут, а великий астроном древности Гиппарх уменьшил эту четверть суток ещё на несколько минут. Гражданский год не всегда начинался с 1 января. Многие древние народы (как и некоторые современные) начинали год с момента весеннего равноденствия, а в Древнем Египте год начинался в день осеннего равноденствия.

Существует три основных типа календарей: 1) лунный, 2) солнечный и 3) лунно-солнечный.

Лунный календарь основан на продолжительности синодического, или лунного

месяца (29,53059 сут), определяемого периодом смены лунных фаз; при этом не принимают во внимание продолжительность солнечного года. Примером лунного календаря служит мусульманский календарь. Большинство народов, использующих лунный календарь, считает месяцы поочередно состоящими из 29 или 30 суток, поэтому средняя длина месяца равна 29,5 сут. Длина лунного года в таком календаре составляет $12 \times 29,5 = 354$ сут. Истинный лунный год, состоящий из 12 синодических месяцев, содержит 354,3671 сут. Календарь не учитывает эту дробную часть; таким образом за 30 лет набирается расхождение в 11,012 сут. Добавление этих 11 суток каждые 30 лет восстанавливает соответствие календаря лунным фазам. Основной недостаток лунного календаря в том, что его год короче солнечного года на 11 сут, поэтому начало определённых сезонов по лунному календарю приходится год от года на всё более поздние даты, что вызывает определённые трудности в общественной жизни.

Солнечный календарь согласован с длиной солнечного года; в нём начало и продолжительность календарных месяцев не связаны со сменой лунных фаз. Солнечные календари были у древних египтян и майя; в наше время большинство стран также пользуется солнечным календарём. Истинный солнечный год содержит 365,2422 сут, но гражданский календарь, чтобы быть удобным, должен содержать целое число суток, поэтому в солнечном календаре обычный год содержит 365 сут, а дробную часть суток (0,2422) учитывают раз в несколько лет, добавляя один день к так называемому високосному году. Солнечный календарь обычно ориентируется на четыре основные даты: два равноденствия и два солнцестояния. Точность календаря определяется по тому, насколько точно равноденствие приходится на один и тот же день каждого года.

Лунно-солнечный календарь — попытка согласовать продолжительность лунного месяца и тропического года путём периодических подгонок. Лунный месяц длиной в 29,5 сут представляется поочередно как 29 или 30 сут, тогда 12 таких меся-

цев дают 354 сут. Чтобы среднее количество дней в году соответствовало солнечному году, каждые 2 или 3 года добавляли тринадцатый лунный месяц, для того чтобы сельскохозяйственные сезоны каждый год приходились на одни и те же даты. Пример лунно-солнечного календаря — еврейский календарь, официально принятый в Израиле.

К числу наиболее известных календарей, предшествовавших современному григорианскому, относятся следующие.

Греческий календарь. В древнегреческом календаре обычный год состоял из 354 сут. Но поскольку ему не хватало 11,25 сут для согласования с солнечным годом, каждые 8 лет к году добавляли 90 сут ($11,25 \times 8$), разделённые на три одинаковых месяца; этот 8-годичный цикл назывался октаэтеридой. После примерно 432 до н. э. греческий календарь основывался на цикле Метона, а затем на цикле Каллиппа (см. *Цикл, календарный*).

Римский календарь. Согласно древним историкам, вначале (около VIII в. до н. э.) латинский календарь состоял из 10 месяцев и содержал 304 сут: пять месяцев по 31 сут в каждом, четыре месяца по 30 и один месяц с 29 сут. Год начинался 1 марта; отсюда сохранились названия некоторых месяцев — сентябрь («седьмой»), октябрь («восьмой»), ноябрь («девятый») и декабрь («десятый»). Ночные сутки начинались в полночь.

Календы, иды и ноны: эти слова римляне использовали только во множественном числе, называя так особые дни месяцев. Календами называли первый день каждого месяца. Иды были 15-м днём марта, мая, июля (квинтилиса), октября и 13-м днём остальных (коротких) месяцев. При современных расчётах нонами называют 8-й день перед идами. Но римляне учитывали сами иды, поэтому ноны у них были 9-м днём (отсюда их название: «*nonus*» — девятый). Мартовскими идами было 15 марта или, менее определённо, какой-либо из семи предшествующих дней: с 8 до 15 марта включительно. Ноны марта, мая, июля и октября приходились на 7-й день месяца, а в прочие, короткие месяцы — на 5-й день. Дни месяца отсчитывались назад: в первую половину месяца говорили, что столько-то дней осталось до нон

или ид, а во вторую половину — до каденд следующего месяца.

Римский календарь претерпел небольшие изменения. Перед 700 г. до н. э. царь Рима Нума Помпилий добавил два месяца — январь и февраль. Календарь Нумы содержал 7 месяцев по 29 сут, 4 месяца по 31 сут и февраль с 28 сут, что составляло 355 сут. Около 451 до н. э. группа из 10 высших римских чиновников (децемвиров) привела последовательность месяцев к нынешнему виду, перенесла начало года с 1 марта на 1 января. Позже была учреждена коллегия понтификов, которая провела реформу календаря.

Юлианский календарь. К 46 до н. э., когда верховным понтификом стал Юлий Цезарь, календарные даты явно расходились с природными сезонными явлениями, и возникла необходимость в радикальной реформе. Чтобы восстановить прежнюю связь календаря с сезонами, Цезарь по совету александрийского астронома Созигена продлил 46-й год до н. э., добавив месяц из 23 сут после февраля и два месяца из 34 и 33 сут между ноябрём и декабрём. Таким образом, в том году было 445 сут, поэтому его прозвали «годом путаницы». Затем Цезарь закрепил длительность обычного года в 365 сут с введением раз в четыре года одного добавочного дня после 24 февраля. Это позволило приблизить среднюю продолжительность года (365,25 сут) к предполагаемой длительности тропического года. Цезарь умышленно отказался от лунного года и выбрал солнечный год, поскольку при этом все вставки, кроме високосного года, стали ненужными. Таким образом Цезарь установил продолжительность года в точности равной 365 сут и 6 час; с тех пор повсеместно использовалось именно это значение: после трёх обычных лет следовал один високосный год. Цезарь изменил длину месяцев, положив в обычном году февраль из 29 сут, а високосном — из 30. Этот юлианский календарь, который сейчас часто называют «старым стилем», был введён 1 января 45 до н. э. Тогда же месяц квинтилис был переименован в июль в честь Юлия Цезаря, а весеннее равноденствие было сдвинуто к своей исходной дате 25 марта.

Августинский календарь. После смерти Цезаря понтифика, видимо, неправильно поняв инструкцию о високосных годах, в течение 36 лет добавляли високосный год не раз в четыре, а раз в три года. Первый римский император Октавиан Август исправил эту ошибку, пропустив три високосных года в период с 8 г. до н. э. до 8 г. н. э. С этого момента високосными считались только годы с номером, кратным 4. В честь императора месяц секстилис был переименован в август. Кроме того, количество дней в этом месяце было увеличено с 30 до 31. Эти сутки были взяты из февраля. Сентябрь и ноябрь были сокращены с 31 до 30 сут, а октябрь и декабрь увеличены с 30 до 31 сут, что сохраняло количество суток в календаре. Так сложилась современная система месяцев.

Некоторые авторы считают основателем современного календаря не Августа, а всё же Юлия Цезаря.

Возможные реформы календаря. Хотя григорианский календарь очень точен и вполне согласуется с природными явлениями, его современная структура не вполне соответствует потребностям общественной жизни. Уже давно ведутся разговоры об усовершенствовании календаря и даже возникают различные ассоциации по проведению такой реформы.

Недостатки григорианского календаря. Этот календарь имеет около дюжины больших и малых дефектов, главный среди которых — переменность количества дней и недель в месяцах, кварталах и полугодиях. Так, кварталы содержат 90, 91 или 92 дня.

Основных проблем четыре.

1. Теоретически гражданский (календарный) год должен иметь ту же продолжительность, что и астрономический (тропический) год. Но это невозможно, поскольку тропический год не содержит целого числа суток. Из-за необходимости время от времени добавлять в год дополнительные сутки существует два типа годов — обычный и високосный. Поскольку год может начинаться с любого дня недели, это даёт 7 типов обычных и 7 типов високосных лет, т. е. всего 14 типов лет. Но их взаимное расположение не повторяется циклически каждые

14 лет; для полного воспроизведения нужно ждать 28 лет.

2. Продолжительность месяцев различна: они могут содержать 28, 29, 30 или 31 дня, и эта неравномерность приводит к определённым трудностям в экономических расчётах и статистике.

3. Ни обычный, ни високосный год не содержат целого числа недель. Полугодия, кварталы и месяцы (исключая февраль) состоят из нецелого количества недель.

4. От недели к неделе, от месяца к месяцу и даже от года к году изменяется соответствие дат и дней недели, поэтому трудно устанавливать моменты различных событий. Например, Новый год всегда приходится на 1 января, но на разные дни недели.

Существует множество предложений по реформе календаря, из которых три, перечисленные ниже, обсуждаются чаще других:

Международный фиксированный календарь (International Fixed Calendar). Это улучшенная версия 13-месячного календаря, предложенного в 1849 г. французским философом, основоположником позитивизма Огюстом Контом (1798–1857). Разработал её английский статистик М. Б. Котсворт (1859–1943), основавший в 1942 г. Лигу фиксированного календаря (Internal Fixed Calendar League). Этот календарь содержит 13 месяцев по 28 суток в каждом; все месяцы одинаковы и начинаются с воскресенья. Оставив первым шести и последним шести месяцам их привычные имена, Котсворт вставил между ними 7-й месяц Sol. Один лишний день ($365 - 13 \times 28$), названный Днём года, следует после 28 декабря. Если год високосный, то вставляют ещё Високосный день после 28 июня. В течение этих двух «уравновешивающих» суток счёт дней недели пропускается.

Котсворт предлагал упразднить названия месяцев и использовать для их обозначения римские цифры. Месяц VII, или Sol, должен начинаться в день, который мы считаем 18 июня. Как видим, 13-месячный календарь весьма равномерен и лёгок в употреблении: год легко делится на месяцы и недели, и месяц делится на недели. Если бы в экономической статистике вместо полугодий и кварталов использовался месяц, то

такой календарь имел бы успех. Но 13 месяцев трудно поделить на полугодия и кварталы. Правда, если не брать в расчёт День года и Високосный день, то получаются равные кварталы продолжительностью в 91 сут; это несколько смягчает трудности. Но основной проблемой остаётся разительное отличие этого календаря от ныне действующего. Для его введения потребуются большие усилия, чтобы получить согласие влиятельных групп, приверженных традиции.

Всемирный календарь (World Calendar). Этот календарь содержит 12 месяцев и в его нынешней форме усиленно пропагандировался многими сторонниками, особенно господжой Э. Ахелис. Она утверждала, что этот календарь постепенно развивался, начиная со Швейцарии, в результате программы, предпринятой по решению Международного коммерческого конгресса 1914 г. В 1930 г. она организовала Ассоциацию всемирного календаря и в 1931 г. начала издавать «Журнал реформы календаря» (Journal of Calendar Reform). Основной единицей в нём служит квартал года. Начало года приходится на воскресенье 1 января, и первые три месяца содержат 31, 30 и 30 сут соответственно. Каждый следующий квартал такой же, как первый. Названия месяцев сохраняются нынешними. День високосного года (июнь W) вставляется после 30 июня, а День окончания года — после 30 декабря. (Предлагались и другие названия для этих дней — например, День мира.) Противники Всемирного календаря считают его недостатками то, что каждый месяц состоит из нецелого числа недель и каждый месяц любого квартала начинается с произвольного дня недели. Защитники же этого календаря считают его преимуществом подобие ныне действующему календарю.

Вечный календарь. Иной вариант реформы календаря, названный Вечным календарём (Perpetual Calendar), предлагает У. Е. Эдвардс из Гонолулу (Гавайи). Несколько раз в Палату представителей США вносился даже законопроект об официальном переходе на этот календарь. Подобно Всемирному календарю, календарь Эдвардса разбит на четыре 3-месячных квартала. Год начинается в понедельник 1 января. Первые два меся-

ца каждого квартала содержат по 30 дней, а последний месяц — 31. Неделя начинается с понедельника, и с него же начинается каждый квартал («квартальный день» — 1 января, апреля, июля и октября), что весьма выгодно для бизнеса. Другой приятной особенностью календаря является то, что пятница в нём никогда не попадает на 13-е число. Между 31 декабря и 1 января стоит праздник — День нового года, а раз в 4 года между 31 июня и 1 июля появляется День високосного года. Трёхдневный праздник сопровождает Рождество и Новый год.

КАЛЕНДАРЬ МАЙЯ И АЦТЕКОВ — календарь древних (коренных) народов Центральной Америки. Древняя цивилизация племени майя обладала весьма высоким искусством счёта времени. Их календарь содержал 365 сут и состоял из 18 месяцев по 20 сут (каждый месяц и каждый его день имели свое название) плюс 5 добавочных суток, не относящихся ни к одному месяцу. Календарь состоял из 28 недель по 13 пронумерованных дней в каждой, что составляло всего 364 сут; одни сутки оставались лишними. Почти таким же календарем пользовались и соседи майя — ацтеки.

КАЛЕНДАРЬ ГРИГОРИАНСКИЙ — современный солнечный календарь («новый стиль»), который начал вводиться с 1582 г. в результате реформы юлианского календаря («старый стиль») на основе буллы папы римского Григория XIII (отсюда и название). Необходимость реформы была вызвана тем, что юлианский год продолжительностью 365 сут 6 ч длиннее истинного солнечного на 11 мин 14 с, поэтому наступление сезонных явлений по юлианскому календарю приходилось на всё более ранние даты. Особенно сильное недовольство вызывало постоянное смещение даты Пасхи, связанной с весенним равноденствием. В 325 г. н. э. Никейский собор издал декрет о единой дате Пасхи для всей христианской церкви.

В последующие столетия было внесено много предложений по усовершенствованию календаря. Наконец предложения неаполитанского астронома и врача Алоизия Лилия (Луиджи Лилио Джиральди) и баварского иезуита Кристофера Клавия были одобрены папой Григорием XIII. 24 февраля

1582 г. он издал буллу, вводящую два важных дополнения в юлианский календарь: из календаря 1582 г. изымалось 10 суток — после 4 октября следовало 15 октября. Это позволяло сохранить 21 марта как дату весеннего равноденствия, каковой она была, вероятно, в 325 г. н. э. Кроме того, впредь из каждых четырёх вековых лет три следовало считать обычными, и только те, которые делятся на 400, считать високосными. Дни недели в обоих календарях совпадают.

Таким образом, различие между старым и новым стилем состоит в том, что в григорианском календаре из числа високосных исключены те вековые годы (т. е. годы с двумя нулями на конце), число сотен в которых не делится на 4 (например, 1800, 1900, 2100 гг.). Средняя продолжительность года при этом всего на 26,8 секунды больше года тропического, что приводит к ошибке в одни сутки лишь за 3224 лет, тогда как в юлианском календаре ошибка в 1 сутки накапливается за 128 лет. Для устранения ошибки, накопившейся в юлианском календаре, при переходе к григорианскому календарю пропускалось 10 суток в XVI–XVII вв., 11 — в XVIII в., 12 — в XIX в. и 13 — в XX–XXI вв.

Первым годом григорианского календаря, т. е. «нового стиля», стал 1582 г. Однако далеко не все страны перешли на новый стиль одновременно. Франция перешла на новый стиль в том же году. Некоторые другие католические страны приняли его в 1583 г. Прочие страны переходили на новый стиль в разные годы: протестантские — в XVII–XVIII вв., Япония — в XIX в., Китай, Болгария, Греция, Турция и др. — в XX в.; Россия — в 1918 г. Например, Великобритания приняла григорианский календарь с 1752 г.; к 1700 високосному году по юлианскому календарю различие между ним и григорианским календарём составляло уже 11 сут, поэтому в Великобритании после 2 сентября 1752 г. наступило 14 сентября. В том же году в Англии начало года было перенесено на 1 января (до этого новый год начинался со дня Благовещения — 25 марта).

Ретроспективное исправление дат стало причиной большой путаницы на многие годы, поскольку Григорий XIII распорядился внести поправки во все прошлые да-

ты, вплоть до Никейского собора. Григорианский календарь используется сегодня во многих странах, включая Россию, которая отказалась от восточного (юлианского) календаря вскоре после Октябрьской (в действительности ноябрьской) большевистской революции 1917 г.: после 31 января 1918 г. сразу наступило 14 февраля.

К сожалению, григорианский календарь тоже не абсолютно точен: он на 26,8 секунды длиннее тропического года. Разница достигает одних суток за 3224 г. Для их компенсации вместо исключения трёх високосных лет из каждых 400 нужно было бы включать один високосный год из каждых 128 лет; это поправило бы календарь настолько, что лишь за 432 тысячи лет разница между календарным и тропическим годами достигла бы 1 суток. Но с практической точки зрения такую высокую точность можно считать избыточной.

КАЛЕНДАРЬ ЕВРЕЙСКИЙ — типичный лунно-солнечный календарь, имеющий очень древнее происхождение. Его месяцы содержат попеременно 29 и 30 суток, а раз в 3 года добавляют 13-й месяц Веадар; его вставляют перед месяцем Нисан каждый 3-й, 6-й, 8-й, 11-й, 14-й, 17-й и 19-й год 19-летнего цикла. Нисан — первый месяц еврейского календаря, хотя отсчёт годов ведётся от седьмого месяца Тишри. Вставка Веадара приводит к тому, что весеннее равноденствие всегда приходится на лунацию в месяце Нисан. Если в григорианском календаре два вида годов — обычный и високосный, то в еврейском тоже два — обычный (12-месячный) год и эмболисмический (13-месячный). В эмболисмическом году 30 суток, вставленные перед Нисаном, состоят из 1 суток, добавленных к шестому месяцу Адару (который обычно содержит 29 суток), и 29 суток Веадара. На самом деле еврейский лунно-солнечный календарь ещё сложнее, чем описано здесь. Хотя он и годится для исчисления времени, из-за использования лунного месяца его нельзя считать эффективным и современным.

КАЛЕНДАРЬ ЕГИПЕТСКИЙ — солнечный календарь древних египтян. Ранний египетский календарь был лунным, о чем свидетельствует иероглиф «месяц» в виде лунного

серпа. Позже жизнь египтян оказалась тесно связана с ежегодными разливами Нила, которые и стали для них точками отсчёта времени, стимулируя создание солнечного календаря. Этот календарь был введён в 4236 г. до н. э., и эта дата считается самой древней. Солнечный год содержал 12 месяцев по 30 суток, а по окончании последнего месяца шло ещё 5 дополнительных суток (эпагомены), что в сумме давало 365 сут. Поскольку календарный год был на $\frac{1}{4}$ сут короче солнечного, со временем он все больше и больше расходился с сезонами. Наблюдая гелиакические восходы Сириуса (первое появление звезды в лучах утренней зари после её невидимости в период соединения с Солнцем), египтяне определили, что 1461 египетский год по 365 сут равен 1460 солнечным годам по 365,25 сут. Этот интервал известен как период Сотис.

Длительное время жрецы препятствовали любому изменению календаря. Наконец в 238 г. до н. э. царь Птолемей III издал декрет о добавлении одного дня к каждому четвёртому году, т. е. ввел подобие високосного года. Так родился современный солнечный календарь. День у египтян начинался с восходом Солнца, их неделя состояла из 10 суток, а месяц — из трёх недель.

КАЛЕНДАРЬ КИТАЙСКИЙ — календарь, действовавший в Китае более двух тысячелетий, вплоть до начала XX в. Доисторический китайский календарь был лунным. Около 2357 г. до н. э. император Яо, недовольный существующим лунным календарем, повелел своим астрономам определить даты равноденствий и с помощью вставных месяцев создать сезонный календарь, удобный для сельского хозяйства. Чтобы согласовать 354-суточный лунный календарь с 365-суточным астрономическим годом, каждые 19 лет добавляли 7 вставных месяцев, следуя подробной инструкции. Хотя солнечный и лунный годы в целом были согласованы, лунно-солнечные различия оставались; их исправляли по достижении ими заметной величины. Тем не менее календарь все ещё был несовершенен: годы имели неодинаковую продолжительность, а равноденствия приходились на разные даты. В китайском календаре год состоял из 24 по-

лумесяцев. Китайский календарь имеет 60-летний цикл, началом которого считается 2637 г. до н. э. (по другим данным — 2397 г. до н. э.) с несколькими внутренними периодами, причём каждый год имеет название в честь животного: коровы, тигра, зайца и др., которые повторяются с периодом в 12 лет.

После западного проникновения в Китай в XIX в. в коммерции стали использовать григорианский календарь, а в 1911 г. он официально был принят в новой Китайской республике. Однако крестьяне ещё продолжали пользоваться древним лунным календарем, но с 1930 г. он был запрещён.

КАЛЕНДАРЬ ЛУННЫЙ — система счисления длительных промежутков времени, основой которой служит смена фаз Луны, связанная с её месячным оборотом вокруг Земли. В лунном календаре содержится 12 месяцев по 30 или 29 дней (попеременно). Год в лунном календаре содержит 354 или 355 дней. Чтобы год лунного календаря по средней продолжительности соответствовал тропическому году, используется лунно-солнечный календарь (таков, например, еврейский календарь, официально принятый в Израиле), в котором каждые 2 или 3 года добавляют 13-й лунный месяц.

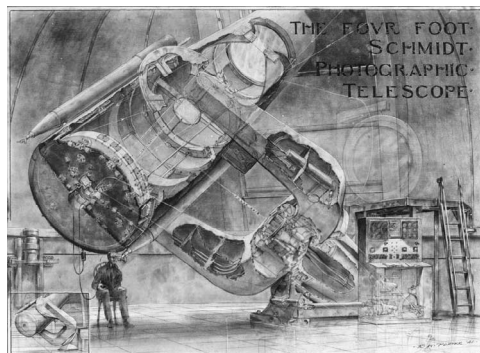
КАЛЕНДАРЬ МУСУЛЬМАНСКИЙ — ныне действующий календарь многих мусульманских стран. До Мухаммеда, умершего в 632 г., у арабов был лунно-солнечный календарь со вставными месяцами, похожий на еврейский. Считается, что ошибки старого календаря заставили Мухаммеда отказать от дополнительных месяцев и ввести лунный календарь, первым годом которого стал 622 г. В нём за единицу отсчёта приняты сутки и синодический лунный месяц, а сезоны вообще не принимаются во внимание. Лунный месяц считается равным 29,5 сут, а год состоит из 12 месяцев, содержащих попеременно 29 или 30 сут. В 30-летнем цикле последний месяц года в течение 19 лет содержит 29 сут, а остальные 11 лет — 30 сут. Средняя продолжительность года в таком календаре 354,37 сут.

Мусульманский календарь широко распространён на Ближнем и Среднем Востоке, хотя Турция в 1925 г. отказалась от него в пользу григорианского календаря.

КАЛЕНДАРЬ ЮЛИАНСКИЙ — древнеримский солнечный календарь, предшественник современного григорианского календаря. Введён с 1 января 45 г. до н. э. в результате реформы, осуществлённой в 46 до н. э. Юлием Цезарем (отсюда и название). Средняя продолжительность года $365 \frac{1}{4}$ сут, что на 11 мин 14 с больше года тропического. В юлианском календаре три года подряд имели по 365 дней, а четвёртый, високосный, содержал 366 дней. Високосными считались все годы, порядковые номера которых делятся на 4, например 1996, 2000, 2004 гг.

КАМЕРА — устройство для получения изображений. Обычно так называют устройства, используемые как в фотографии, так и в электронных изображающих системах с ПЗС-детекторами, телевизионными трубками и т. п. Базовыми элементами камеры служат объектив, положение которого можно менять для фокусировки, затвор, обеспечивающий набор экспозиций, и светоприёмник. Большинство камер оснащается экспонометрами, видоискателями, а также переменной диафрагмой для изменения относительного фокуса объектива. Часто камеры имеют сменные объективы или объективы с переменным фокусным расстоянием, что позволяет менять масштаб получаемого изображения. Большинство современных камер имеет систему автоматической фокусировки и выбора экспозиции, но эти системы могут не работать корректно при использовании камеры на телескопе. Для астрономического применения лучше всего подходят простые камеры.

КАМЕРА ШМИДТА — светосильная камера, используемая как для получения прямых снимков астрономических объектов, так и в качестве камеры во многих спектрографах. Эту оптическую систему предложил Бернгард Шмидт в 1930 г. Камера может иметь значительное относительное отверстие (до 1:1) и большое поле резких изображений (6° и более). В камере Шмидта входная апертура расположена в центре кривизны главного сферического зеркала, что делает наклонные пучки равноправными и исключает внеосевые aberrации. Для компенсации сферической aberrации главного зеркала во входной апертуре камеры помещён



48-дюймовая камера Шмидта Паломарской обсерватории. Технический рисунок

тонкий линзовый корректор (пластина Шмидта), профиль сечения которого описывается кривой 4-го порядка. Поскольку толщина пластины обычно невелика, а отличие её формы от плоскопараллельной незначительно (десятки микрометров), корректор не вносит в систему заметной хроматической aberrации. Единственной неисправленной aberrацией в камере Шмидта остаётся кривизна поля. В светосильных камерах Шмидта фотографическую пластинку изгибают для лучшего соответствия искривленной фокальной поверхности; в системах меньшей светосилы для исправления кривизны поля используется полесправляющая плоско-выпуклая линза Пиацци — Смиа. Поскольку фокус камеры Шмидта находится внутри системы, её невозможно использовать для визуальных наблюдений.

КАНОПУС — α Килиа, звезда $-0,72$ визуальной звёздной величины (вторая по яркости звезда на небе), удалённая от Солнца на 330 св. лет. Важнейшая навигационная звезда: имея чрезвычайно высокий блеск, Канопус лежит всего в 15° от полюса эклиптики, поэтому его наравне с Солнцем используют в системах ориентации космических аппаратов.

КАПЕЛЛА — α Возничего, звезда 0,08 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 42 световых года. Для наблюдателей Северного полушария, живущих выше 44° широты, Капелла является незаходящей звездой, т. е. видна каждую ясную ночь.

КАРЛИК (в звёздной астрономии) — звезда главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга — Рассела.

КАРЛИКОВЫЕ ГАЛАКТИКИ — галактики с массой, размером и светимостью значительно ниже средних. Часто карликовые галактики являются спутниками нормальных и гигантских галактик.

КАРЛИКОВЫЕ НОВЫЕ — новоподобные звезды, светимость которых при вспышке за несколько часов возрастает примерно в 100 раз и сохраняется в этом состоянии несколько суток. Причиной такой относительно слабой вспышки считается не термоядерный взрыв, как у нормальных новых, а нерегулярность аккреции вещества соседней звезды на белый карлик. Возможно, звезда теряет вещество порциями, а может быть, газ накапливается в аккреционном диске, а затем порциями попадает на поверхность белого карлика.

КАССИОПЕЯ — северное созвездие, одно из красивейших на нашем небе и всегда доступное для наблюдения в средних широтах. В мифах царица Кассиопея была женой царя Кефея (Цефея) и матерью Андромеды. Астеризм из пяти ярких (от 2,2^m до 3,4^m) звезд похож на букву «М», когда наблюдается над северным полюсом мира вечером в декабре, и на «W», когда наблюдается ниже полюса в июне. Большая часть созвездия лежит в Млечном Пути и содержит много интересных объектов. Внимание любителей астрономии привлекает звезда Шедар (α Cas): с XIX в. она входит в каталоги переменных звезд, хотя её переменность до сих пор уверенно не подтверждена. Среди других интересных объектов — рассеянные скопления M52, M103, NGC 457 и NGC 7789, карликовые эллиптические галактики NGC 147 и NGC 185, спутники Туманности Андромеды; диффузная туманность NGC 281 и гигантская газовая сфера — туманность Пузырь (NGC 7635). В этом созвездии расположен один из мощнейших источников галактического радиоизлучения — Кассиопея А. Это быстро расширяющаяся газовая оболочка, сброшенная при взрыве сверхновой звезды в 1572 г. Как отмечали Тихо Браге и другие астрономы тех лет, сверхновая сияла ярче Венеры.

КАТАКЛИЗМИЧЕСКАЯ ДВОЙНАЯ — тесная двойная система, главной звездой которой является белый карлик, а его спутник — оранжевая или красная (спектрального

класса К или М) звезда главной последовательности. В системе происходит перетекание вещества со спутника на главную звезду. В большинстве случаев поток богатого водородом газа сначала втекает в аккреционный диск вокруг белого карлика, а затем может попасть на поверхность этой компактной звезды и воспламениться в ядерной реакции. Катаклизмические двойные делят на две группы. Наиболее многочисленная группа содержит карликовые звезды типа U Близнецов (U Gem), а также классические и повторные новые. Вторая, менее богатая, группа содержит звезды типа AM Геркулеса (AM Her) и DQ Геркулеса (DQ Her). У этих систем вокруг главной звезды существует сильное магнитное поле, что сильно влияет на аккреционный диск.

КАТАКЛИЗМИЧЕСКАЯ ПЕРЕМЕННАЯ — переменная звезда с внезапной и сильной переменностью блеска. В эту группу входят все типы катаклизмических двойных, а также некоторые типы симбиотических звезд и сверхновые.

КАТАЛОГ АБЕЛЯ — каталог богатых скоплений галактик всего неба, содержащий параметры 4073 скоплений с красным смещением $z \leq 0,2$. Его основой стал «Северный обзор» с данными о 2712 скоплениях, который в 1958 г. опубликовал американский астроном Джордж Абель (George Ogden Abell, 1927–1983) на основе Паломарского обзора неба. В 1989 г. каталог был дополнен «Южным обзором» с данными о 1361 скоплении.

КАТАЛОГ ГЕНРИ ДРЭПЕРА — каталог спектральных классов звезд, составленный в начале XX в. на Гарвардской обсерватории (США). Большую часть работы по его созданию выполнила Энни Кэннон (1863–1941). Вместе с дополнениями этот каталог содержит данные о спектрах 350 000 звезд. Каталог назван в честь американского врача и астронома Генри Дрэпера (Henry Draper, 1837–1882), на деньги посмертного фонда которого была осуществлена эта работа.

КАТАЛОГ ГИППАРКОС (HIPPARCOS) — звездный каталог, составленный по данным наблюдений астрометрического искусственного спутника Земли HIPPARCOS (High Precision PARallax Collecting Satellite) Европейского космического агентства, работав-

шего на орбите с 1989 по 1993 г. Поскольку спутник вышел на нерасчётную орбиту, потребовалась сложная процедура редукции данных наблюдений. Каталог HIPPARCOS опубликован в 1997 г. Он включает координаты, геометрические параллаксы (т. е. расстояния), собственные движения и блеск 118 218 звёзд (одиночных и двойных) до 9^m. Погрешность данных каталога около 0,001". На данный момент (2012 г.) это самый точный астрометрический каталог.

КАТАЛОГ КОЛДУЭЛЛА — каталог из 109 незвёздных объектов (туманностей, звёздных скоплений, галактик), дополнительных к объектам каталога Мессье, но при этом достаточно ярких для наблюдения в небольшой телескоп, интересных и доступных для начинающих любителей астрономии. Каталог Колдуэлла (Caldwell catalogue) был составлен и впервые опубликован в журнале «Sky and Telescope» в декабре 1995 г. британским астрономом и очень известным популяризатором науки сэром Патриком Муром (Patrick Moir, р. 1923). Название каталогу он дал, используя свою вторую фамилию (его полное имя — Patrick Alfred Caldwell Moir), чтобы обозначать объекты своего каталога как C1, C2, ... и не путать их с объектами каталога Мессье (M1, M2, ...). В отличие от каталога Мессье, каталог Колдуэлла охватывает всё небо, и объекты в нём упорядочены по склонению — от больших к меньшим. Патрик Мур считает, что так удобнее. Жителям Северного полушария доступны для наблюдения все объекты от начала каталога до определённого его места, обусловленного географической широтой точки наблюдения и условиями видимости.

КАТАЛОГ МЕССЬЕ — каталог из 110 незвёздных объектов (т. е. туманностей, звёздных скоплений, галактик), в основном составленный французским астрономом Шарлем Мессье (1730–1817) между 1771 и 1781 гг. и позже дополненный другими астрономами. Мессье систематически вел поиски новых комет. Чтобы не путать кометы с далёкими туманными объектами неба, он составил один из первых в истории астрономии каталог туманностей и звёздных скоплений, до сих пор чрезвычайно популярный среди любителей астрономии, поскольку все его

объекты доступны для наблюдения в небольшой телескоп. Первое издание каталога вышло в свет в 1774 г. и содержало 45 объектов. Среди них под первым номером (M1) указана Крабовидная туманность в созвездии Телец, обнаруженная Мессье 12 сентября 1758 г. В астрономию прочно вошли обозначения многих туманностей, скоплений и галактик по каталогу Мессье: например, M31 — туманность Андромеды, M42 — диффузная туманность Ориона. Второе издание каталога (1781) содержало 103 объекта. Современная его версия содержит около 110 объектов, из которых более 60 открыто самим Мессье и около 30 — французским астрономом Пьером Мешеном (1744–1804).

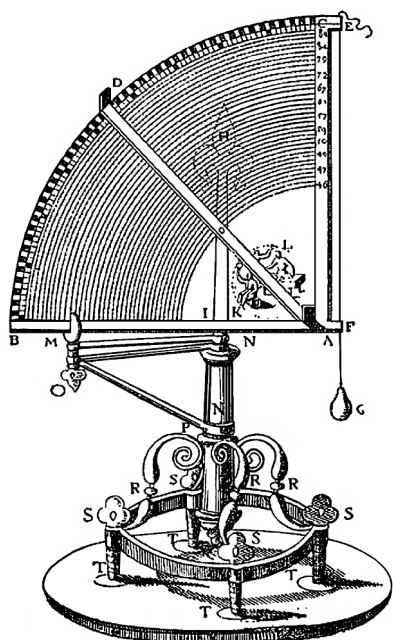
КАТАЛОГ «ТИХО» (Tycho catalog) — каталог координат и звёздных величин 1058 000 звёзд, полученный с помощью астрометрического спутника HIPPARCOS и опубликованный в 1997 г. Точность координат звёзд в этом каталоге составляет от 0,007" до 0,025". В 2000 г. был опубликован каталог «Тихо 2», содержащий данные о 2,5 млн звёзд. См. *Каталог Гиппаркос*.

КАТАЛОГ ЦВИККИ — «Каталог галактик и скоплений галактик», составленный и опубликованный в 1968 г. под руководством американского астронома Фрица Цвикки на основе фотопластинок Паломарского обзора неба. Включает данные примерно о 40 тыс. объектов.

КАТАЛОГ ЯРКИХ ЗВЁЗД (Bright star catalog) — Каталог звёзд ярче 6,5^m, то есть звёзды, видимые невооружённым глазом в идеальных условиях. Впервые опубликован обсерваторией Йельского университета (США) в 1930 г. Включает более 9000 звёзд.

КАТАЛОГИ ГЕРШЕЛЕЙ — серия каталогов незвёздных объектов, составленных между 1786 и 1847 гг. сэром Вильямом Гершелем и его сыном сэром Джоном Гершелем. Каталоги в общей сложности включают около 6500 объектов. Позднее большинство этих объектов вошло в Новый общий каталог (New General Catalog, NGC), поэтому сейчас принято использовать обозначение объектов по NGC. Ссылки на каталоги Гершелей встречаются редко; в этих случаях объекты обозначают буквами H (сэр Вильям) и h (сэр Джон), например H1.210 или h 2409.

КВАДРАНТ — старинный астрономический угломерный инструмент для определения высоты светила над горизонтом. Подобен октанту и секстанту, но с измерительным сектором в 90° . Простейший квадрант — плоская доска в форме $1/4$ круга, с дугообразной шкалой, разделённой на градусы и доли градуса. Относительно центра круга вращается линейка с диоптрами, служащая для наблюдения светила и отсчёта его высоты над горизонтом либо зенитного угла. Для ориентации по вертикали служит отвес.



Малый квадрант Тихо Браге. Рисунок из его книги «*Astronomiae Instauratae Mechanica*» («Механика обновлённой астрономии»)

КВАДРАНТИДЫ — ежегодный метеорный поток, радиант которого лежит в созвездии Волопас, около границы с созвездиями Геркулес и Дракон. Название относится к тем временам, когда эта область неба принадлежала созвездию Стенной Квадрант (*Quadrans Muralis*), теперь уже не существующему. Пик этого метеорного потока приходится на 3 января, а обычные пределы — с 28 декабря по 7 января. Это узкий поток метеоров с резким максимумом, не связанный с какой-либо известной кометой. Среднее зенитное часовое число метеоров в максимуму

ме $N \approx 90$, но в отдельные годы наблюдается повышенная активность.

КВАДРАТНЫЙ ГРАДУС — единица площади (телесного угла) на небесной сфере, эквивалентная области угловым размером $1^\circ \times 1^\circ$. Полная площадь сферы составляет 4π стерадиан = 41 253 кв. градуса (округленно). Для обозначения квадратного градуса обычно используют знак $^\circ$.

КВАЗАГИ — объекты, подобные квазарам, но не обладающие заметным радиоизлучением. Слово «квазаг» происходит от англ. *quasag* — QUASi stellAr Galaxy. Квазаги открыл в 1965 г. американский астроном Аллан Сэндидж (Allan Sandage, 1926–2010).

КВАЗАРЫ — внегалактические объекты, отличающиеся очень высокой светимостью и настолько малым угловым размером, что в течение нескольких лет после открытия их не удавалось отличить от точечных источников — «звёзд», что указывает на их большую удалённость от нашей Галактики, достигающую нескольких тысяч мегапарсек. Слово «квазар» происходит от англ. *quasar* — QUASi stellAR radio source, т. е. радиоисточник, похожий на звезду. Квазары отличаются очень высокой светимостью, в десятки раз выше светимости крупных галактик, и при этом демонстрируют переменность яркости, что указывает на компактность источника энергии. Впервые были обнаружены в 1960 г. как радиоисточники, совпадающие в оптическом диапазоне со слабыми звездообразными объектами. В 1963 г. голландский астроном Маартен Шмидт, работавший в США, доказал, что линии в их спектрах сильно смещены в красную сторону. Принимая, что это смещение вызвано эффектом Доплера, определили расстояние до них по закону Хаббла. Они оказались самыми далёкими объектами Вселенной, доступными для наблюдения. Позже обнаружили подобные объекты без мощного радиоизлучения — квазаги. Как обобщающий был принят термин «квазизвёздный объект» (*quasi-stellar objects*, QSO), но чаще говорят просто «квазар».

Обнаружено уже более 5000 квазаров. Ближайший и наиболее яркий (3C 273) имеет блеск около 13^m и красное смещение $z=0,158$ (что соответствует расстоянию

около 2 млрд св. лет). Самые далёкие квазары благодаря своей гигантской светимости, в сотни раз превосходящей светимость нормальных галактик, видны на расстоянии около 13 млрд св. лет (красное смещение $z=7,1$). Изучение ближайших квазаров показало, что они находятся в ядрах крупных галактик; вероятно, это характерно и для остальных квазаров. Нерегулярная переменность блеска квазаров свидетельствует, что область генерации их излучения имеет малый размер, сравнимый с размером Солнечной системы. Какой физический процесс обеспечивает выделение гигантской энергии в столь малой области, остаётся загадкой. Многие астрофизики считают, что это выделяется гравитационная энергия в процессе падения вещества на гигантскую чёрную дыру массой $10^7\text{--}10^9 M_\odot$.

КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ — теория, объединяющая квантовую механику и общую теорию относительности (возможно, с изменениями). Примером теории квантовой гравитации служит теория струн.

КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА (КХД) — релятивистская квантовая теория поля, описывающая сильное взаимодействие и свойства кварков.

КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА (КЭД) — релятивистская квантовая теория поля,

описывающая электроны и электромагнитное взаимодействие.

КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ (quantum efficiency, QE), или **квантовый выход**, — мера эффективности детектора, равная отношению числа зарегистрированных фотонов к числу фотонов, упавших на детектор. Значение квантовой эффективности старых фотографических эмульсий около 0,1%, современных эмульсий от 1% до 3%, человеческого глаза — около 5%, ПЗС — до 90%.

КВАНТОВЫЙ ВЫХОД — отношение числа эмитируемых (выбитых) из вещества фотоэлектронов к числу упавших фотонов. Термин, строго говоря, применим лишь к детекторам излучений, использующим внешний фотоэлектрический эффект в газах и с поверхности твёрдых тел, но часто значение квантового выхода приводят и для других регистрирующих приборов и фотоматериалов, и тогда под этим понятием подразумевается величина, обратная числу фотонов, необходимых для почернения одного зерна фотоэмульсии ($10^{-3}\text{--}10^{-2}$). Более общий смысл имеет термин «квантовая эффективность», хотя часто их используют как синонимы.

КВАРК — частица вещества, участвующая в сильном взаимодействии (а также в электромагнитном, слабом и гравитационном).

Схема стандартной модели физики элементарных частиц. Термин «поколение» означает группы частиц, различающиеся между собой лишь массой и ароматом (одним из квантовых чисел).



Есть шесть разновидностей кварков, которые называют «сортами» или, чаще, — «ароматами»: u , d , s , c , b , t . К тому же каждый из ароматов имеет три «цвета» (условно — красный, зелёный, синий). Каждому кварку соответствует антикварк, т. е. античастица с противоположными квантовыми числами. Кварки имеют дробный электрический заряд: $1/3$ или $2/3$ в единицах заряда электрона. Взаимодействие кварков происходит путём обмена глюонами.

В свободном виде кварки не наблюдаются. Они входят в состав наблюдаемых частиц. Например, протон состоит из двух u -кварков (разного цвета) и одного d -кварка, а нейтрон состоит из одного u -кварка и двух d -кварков (разного цвета).

КВАРКОВАЯ ЗВЕЗДА — гипотетическая звезда, состоящая из свободных кварков, плотность которой равна средней плотности между нейтронной звездой и чёрной дырой такой же массы. В теоретических работах 1980-х гг. высказывались большие сомнения относительно существования в природе кварковых звёзд, но в апреле 2002 г. наблюдения рентгеновской обсерватории «Чандра» показали, что объект RX J185635-375, возможно, действительно является такой звездой. Ранее его считали нейтронной звездой, но, по наблюдениям «Чандры», он имеет диаметр около 11 км — слишком мало для тела, состоящего из цельных нуклонов (нейтронов и протонов). Если судить по плотности, похоже, что его нуклоны разорваны на составляющие их кварки. Вторым кандидатом в кварковые звезды является объект 3C 58, который ранее тоже считался обычной нейтронной звездой, образовавшейся в процессе взрыва сверхновой 1181 г. Температура его поверхности около 1 млн К, то есть он остыл быстрее, чем если бы состоял из цельных нуклонов. Согласно теории, часть вещества 3C 58 превратилась в бульон из кварков.

КЕЛЬВИН — единица измерения температуры в системе СИ. Названа в честь английского физика Уильяма Томсона, лорда Кельвина (1824–1907). Обозначается символом «К». Нуль-пунктом температурной шкалы Кельвина служит «абсолютный нуль», при котором в рамках классической физики

полностью прекращается тепловое движение молекул и атомов. Точкам замерзания и кипения воды в шкале Кельвина соответствуют температуры 273,16 К и 373,16 К. Таким образом, масштаб температурной шкалы Кельвина такой же, как у шкалы Цельсия, но нуль-пункт сдвинут к абсолютному нулю. Следует помнить, что единицей измерения температуры в шкалах Цельсия, Фаренгейта, Реомюра служит «градус» соответствующей шкалы, тогда как в шкале Кельвина единицей измерения служит «кельвин». Перед подстановкой значения температуры в физические формулы их (как правило) следует переводить в шкалу Кельвина.

КЕНТАВР, или **Центавр**, — одно из самых южных созвездий, известных древним звездочётам. Первоначально в него включались звезды, из которых позже образовали созвездие Южный Крест. Но и без них Кентавр — большое созвездие и содержит много ярких звёзд и интересных объектов. Согласно греческим мифам, попавший на небо кентавр — это бессмертный и мудрый Хирон, сын Кроноса и нимфы Филиры, знаток науки и искусства, воспитатель греческих героев Ахилла, Асклепия, Ясона. Ярчайшую звезду этого созвездия древние называли Ригель Кентаврус («нога кентавра») или Толиман. В наше время она известна как Альфа Кентавра (α Cen), ближайшая к Солнцу звезда: до неё 4,4 св. года. Это одна из ярчайших звёзд на земном небе и красивая двойная: её компоненты разделены углом около $20''$ и обращаются с периодом 80 лет. Более яркий из них ($-0,04^m$), жёлтый карлик, — почти точная копия Солнца. Его сосед ($1,2^m$) — оранжевый карлик. В 1915 г. на небольшом удалении от них английский астроном Роберт Иннес (1861–1933) обнаружил звёздочку $10,7^m$. Оказалось, что она чуть-чуть ближе к Солнцу (4,2 св. года), чем пара α Cen. За это ей дали собственное имя — Проксима («ближайшая»). Хотя Проксима Кентавра — очень тусклый красный карлик, уступающий нашему Солнцу по массе и размеру раз в 6–7, а по светимости — в десятки тысяч раз, это весьма активная вспыхивающая звезда, блеск которой может измениться вдвое всего за несколько минут. Проксима является третьим членом системы Альфа Кентавра.

Она обращается вокруг центральной двойной звезды (α Cen A + α Cen B) примерно за 550 тысяч лет. Вокруг Проксимы обращаются две планеты, причем одна из них (Proxima b) имеет массу, близкую к земной, и находится в зоне жизни звезды.

В созвездии Кентавр видно крупнейшее шаровое скопление Галактики — ω Cen (NGC 5139), состоящее из нескольких миллионов звёзд. Хотя расстояние до скопления 16 000 св. лет, оно самое яркое на небе. В Кентавре находится также необычная эллиптическая галактика NGC 5128, пересечённая клочковатой тёмной полосой межзвёздной пыли; астрономы полагают, что сравнительно недавно она разорвала в клочья и сейчас поглощает свою соседку — спиральную или неправильную галактику. Этот «каннибал» известен также как мощный радиоисточник Кентавр А.

КЕНТАВРЫ — класс малых тел Солнечной системы, движущихся между орбитами Юпитера и Нептуна. Первое из них обнаружил 18 октября 1977 г. Чарлз Коуэл (Ch. Kowal) на фотопластинках, полученных на 1,2-м камере Шмидта Паломарской обсерватории (США). Объект получил обозначение 1977 UB, и ему как астероиду дали очередной номер 2060. Однако уверенности в том, что это именно астероид, не было, поскольку на таком большом расстоянии от Солнца даже ледяные ядра комет не испускают газ. Поэтому объект назвали Хироном (Chiron) в честь легендарного кентавра, также имевшего двойственную природу. Действительно, когда Хирон проходил в 1988 г. перигелий, у него появились газовая кома и хвост.

К 2005 г. в семействе кентавров было уже 40 членов. Первым из них присваивали мифологические имена соплеменников Хирона (Фол, Несс и др.), но мифологических имён на всех не хватило; кентавры, открытые позже, имеют лишь номера. Их орбиты разнообразны: от круговых до сильно вытянутых ($e=0,95$); некоторые значительно наклонены к эклиптике, вплоть до обратного движения вокруг Солнца. Диаметры кентавров 100–300 км, и у них весьма тёмная поверхность. Полное количество кентавров диаметром более 1 км оценивается от 44 тыс. до 10 млн.

КЕРРОВСКАЯ ЧЁРНАЯ ДЫРА — чёрная дыра, обладающая массой и моментом количества движения (моментом импульса), т. е. электрически нейтральная вращающаяся чёрная дыра. Название связано с тем, что точное решение уравнений общей теории относительности, описывающее такой объект, впервые получил в 1963 г. новозеландский математик Рой Керр (Roy Patrick Kerr, р. 16 мая 1934 г.).

КИЛЬ — южное созвездие, богатое яркими звёздами. В конце XVII в. большое птолемеевское созвездие Арго (корабль аргонавтов) поделили на три части: Киль, Корму и Паруса. Украшением созвездия Киль стал великолепный бледно-жёлтый гигант Канопус (α Car) блеском $-0,73^m$, вторая по яркости звезда ночного неба после Сириуса. Удалённый от нас на 330 св. лет, Канопус светит в 16 000 раз мощнее Солнца и в 760 раз мощнее Сириуса. Его можно наблюдать в странах, расположенных к югу от 37° с. ш. Канопус — важная навигационная звезда: он расположен недалеко от южного полюса эклиптики, поэтому наряду с Солнцем часто используется в системах астроориентации. Важно, что блеск Канопуса, как и блеск Солнца, чрезвычайно стабилен: это облегчает распознавание ориентира.

По-иному ведет себя другая знаменитая звезда этого созвездия — Эта Килия (η Car). Эдмонд Галлей наблюдал её в 1677 г. как звезду 4^m . Позже астрономы отмечали её нерегулярную переменность, а в 1840 г. её блеск значительно возрос. К 1843 г. он достиг максимума ($-0,8^m$), и тогда η Car стала ярче Канопуса. Затем она начала тускнеть и спустя десятилетие уже была недоступна невооружённому глазу. В минимальном блеске она имела 8^m , но в последние годы XX в. её яркость вновь начала возрастать и в 2018 г. достигла $V=4,3$. Исследования показали, что в переменности блеска этой звезды виновата не столько она сама, сколько окружающая её очень компактная и плотная пылевая туманность диаметром всего 0,4 св. года. Она состоит из вещества, сброшенного звездой, и быстро меняет свою форму и прозрачность. Если бы не эта туманность, то мы видели бы звезду колоссальной яркости, поскольку её све-

тимость в 5 млн раз выше солнечной. Однако почти весь этот свет поглощается пылью туманности и переизлучается в инфракрасном диапазоне, делая источник η Car самым ярким на инфракрасном небе (исключая объекты Солнечной системы).

Эта Киля — двойная звезда; массы её компонентов около $100 M_{\odot}$ и $50 M_{\odot}$, но ежегодно она теряет в виде звёздного ветра $0,07 M_{\odot}$ — больше любой другой известной звезды. Этот газ улетает от неё со скоростью 700 км/с. Вдали от звезды он охлаждается, и образовавшиеся мельчайшие твёрдые частицы формируют вокруг звезды почти непрозрачный «кокон». Ясно, что долго такая нестабильность продолжаться не может; обычно она знаменует конец жизни звезды. Современное её затишье — временное: возможно, в ближайшие столетия или даже десятилетия она взорвётся как сверхновая!

Звезда η Car располагается в центре гигантской газовой туманностью с тем же названием (NGC 3372). Её угловой размером 3° — в 6 раз больше, чем у Луны. Поскольку расстояние до неё около 8000 св. лет, этот угол соответствует линейному диаметру туманности 400 св. лет, что в 12 раз больше, чем у Туманности Ориона. В самом центре яркой туманности η Car, рядом со звездой η Car, расположена тёмная туманность Замочная Скважина (NGC 3324), действительно похожая на отверстие для ключа.

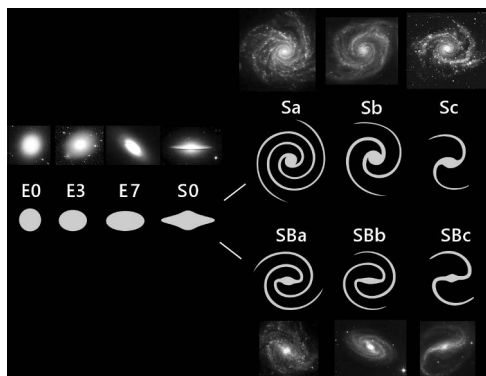
КИТ — крупное экваториальное созвездие. В греческих мифах это чудовище, посланное Посейдоном, чтобы разрушить страну царя Цефея и погубить его дочь Андромеду. Кит окружён в основном «водными» созвездиями: он лежит к югу от Рыб, протянувшись от Водолея на западе до Эридана на востоке. Самая известная звезда в Ките — α Ceti, которую издавна называют Мира, т. е. «изумительная». Это красный гигант, долгопериодическая переменная, изменяющая блеск с периодом 332 суток от 3^m до 11^m . Представляет интерес компактная спиральная галактика 9^m с яркой центральной частью M77 (NGC 1068); она относится к типу сейфертовских галактик, в её ядре происходят активные процессы выделения энергии.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛАКТИК — подразделение галактик на группы, основанное на

их объективных признаках — физических (светимость, масса и др.), морфологических (наблюдаемая форма, состав) и т. п. Путём объединения галактик в группы по одной или нескольким характеристикам, таким как форма, спектр и светимость, были разработаны различные схемы классификации для наведения порядка в этом галактическом «зверинце». Приведём несколько таких схем, хотя их гораздо больше, включая схемы классификации радиогалактик или других редких звёздных систем.

Классификация по Хаббл. Наиболее известная и часто используемая схема, предложенная Эдвином Хабблом в 1925 г. Это морфологическая система классификации галактик, основанная только на их наблюдаемой форме. Согласно классификации Хаббла выделяется три основных класса галактик: спиральные (S, SB) и эллиптические (E) галактики весьма симметричны, а неправильные, или иррегулярные, галактики (Ir или Irr) имеют несимметричный, клочковатый вид. Буквенные обозначения этих типов происходят от английских слов *spiral*, *elliptical* и *irregular*. В свою очередь, спиральные галактики подразделяются на два подкласса — нормальные спирали (S) и спирали с перемычкой, или баром, которые иногда называют пересечёнными спиралями (SB). У нормальных спиралей рукава начинаются практически от самого центра, а у пересечённых отходят от концов прямолинейной структуры (бар, перекладина), симметрично пересекающей центр галактики. Группу эллиптических галактик представляет ряд, начинающийся со сферических (E0) и заканчивающийся очень вытянутыми галактиками (E6 и E7). Цифра в этих обозначениях указывает степень наблюдаемой вытянутости эллипсоида и вычисляется по формуле $10(a-b)/a$, где a и b — длины большой и малой осей эллипса, аппроксимирующего видимую форму галактики.

Кроме этого, нормальные и пересечённые спирали подразделяются по степени закрученности рукавов, которая указывается в виде строчной латинской буквы «a», «b» или «c» в порядке уменьшения плотности закрутки рукавов и роста их клочковатости. Нормальные спирали охватывают



Классификация галактик по Хаббл

диапазон от Sa (с туго закрученными рукавами) до Sc (с большим расстоянием между рукавами, быстро удаляющимися от центра по мере продвижения от начала рукава в центре галактики к его окончанию на краю галактики). Такую же последовательность образуют и пересечённые спирали: SBa, SBb и SBc.

К этой схеме Аллан Сэндидж добавил и другие категории, например, S0 («эс-ноль») для описания линзообразных систем с ядрами, окружёнными дискообразной структурой, лишённой газового диска и спиральных рукавов. Иногда говорят, что галактики относятся к «ранним» (E и S0) или «поздним» (Sb, Sc, Irr) типам. Это отголосок устаревших представлений о том, что галактики эволюционируют вдоль последовательности $E \rightarrow S \rightarrow Irr$, как полагал Хаббл.

Классификацию Хаббла часто изображают графически в виде «камертонной» диаграммы. Ножкой камертона служит последовательность эллиптических галактик от E0 до E7. У типа S0 она раздваивается, превращаясь в «вилку» — в две последовательности спиральных галактик. Вдоль одной из них идут нормальные спирали (от Sa до Sc), а вдоль другой — пересечённые (от SBa до SBc). Неправильные системы обычно в этот «камертон» не вписываются либо скромно располагаются за галактиками Sc и SBc, поскольку у них предельно клочковатый вид.

Классификация спиральных галактик по Вокулёру и Сэндиджу (de Vaucouleurs — Sandage classification). Основные типы — SA (нормальные спирали) и SB (пересечённые спирали). Затем строчной бук-

вой в скобках указывается форма спирали: от s (S-образные) до r (кольцевые). Кроме того, между SA- и SB-спиралями и неправильными галактиками типа Магеллановых Облаков (Im) добавлено несколько переходных стадий. В этой системе галактика Андромеда обозначается как SA(s)b.

Классификация по ван ден Бергу (Sidney van den Bergh), или DDO-классификация (от David Dunlap Observatory). Включает в себя два параметра — морфологический тип и класс светимости. Тип галактики (Sa, Sb, Sc, Ir) указывается просто по Хаббл. Обозначение S(B) введено для описания промежуточных объектов между нормальными и пересечёнными спиралями. Класс светимости (I, II, III, IV, V) аналогичен классам светимости звёзд: I — сверхгиганты, II — яркие гиганты, III — гиганты, IV — субгиганты, V — карлики. Классу I соответствует абсолютная звёздная величина в фильтре В около $-20,5^m$ (т. е. $2 \cdot 10^{10} L_{\odot}$), а классу V — звёздная величина -14^m ($10^8 L_{\odot}$). Не известно ни одной спирали типов Sa или Sb, светимость которых была бы меньше, чем класс III.

КЛАССЫ СВЕТИМОСТИ — система классификации звёзд по их светимости. Фактически это деление оптических звёздных спектров на типы, дополнительное к спектральным классам звёзд. При этом звёзды близких спектральных классов делятся на группы по светимости. Физической основой классификации служит степень уширения спектральных линий под влиянием давления газа в атмосфере звезды. Звёзды высокой светимости существенно больше по размеру, чем звёзды низкой светимости того же спектрального класса. Поэтому у звёзд высокой светимости низкие плотность и давление в атмосфере; как результат — узкие линии поглощения в спектре. А у звёзд-карликов меньшей светимости давление в атмосфере выше и поэтому более широкие линии в спектре.

Класс светимости указывают римской цифрой после спектрального класса звезды. Солнце — звезда спектрального класса G2 — имеет класс светимости V, поэтому полная характеристика его спектра записывается как G2V. Фактически каждый класс светимости указывает определённую после-

Основные классы светимости звёзд

Класс	Тип звезды
Ia	Яркие сверхгиганты
Iab	Сверхгиганты
Ib	Сверхгиганты низкой светимости
II	Яркие гиганты
III	Гиганты
IV	Субгиганты
V	Карлики главной последовательности
VI	Субкарлики
VII	Белые карлики

довательность (группу) звёзд на диаграмме Герцшпрунга — Рассела. Кроме отмеченных в таблице классов, на этой диаграмме иногда выделяют положение самых ярких сверхгигантов, звёзд очень редкой «породы», обозначая её как Ia–O или как Ia+. В некоторых классификациях присутствует также бело-голубая последовательность (класс светимости VIII), образованная ядрами планетарных туманностей.

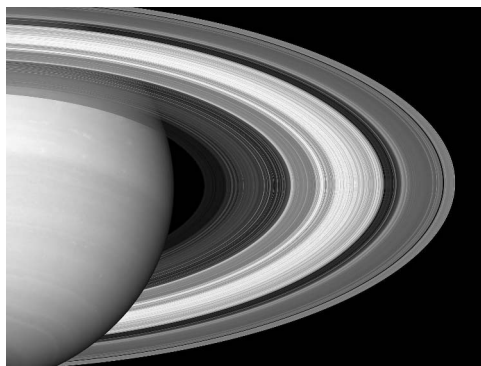
КОЗЕРОГ — сравнительно небольшое и невыразительное зодиакальное созвездие, которое поздним вечером в августе и только в безлунную ночь можно найти между Водолеем и Стрельцом. Если в Козероге вы увидите действительно яркую звезду, то знайте — это не звезда, а планета. Древние называли это созвездие «рыба-коза», и в этом странном виде оно представлено на многих картах. Впрочем, иногда оно отождествляется с богом лесов, полей и пастухов Паном. Его звезды образуют силуэт, напоминающий перевернутую шляпу, хотя при желании в них можно увидеть и фигуру рогатого животного. Самую северную звезду в этом созвездии, α Козерога, можно разрезать как двойную невооружённым глазом.

КОЛИЧЕСТВО ЗВЁЗД, ВИДИМЫХ НЕВООРУЖЁННЫМ ГЛАЗОМ, — число звёзд, доступных (заметных) при наблюдении на ясном ночном небе для человека с хорошим зрением (либо в очках) после достаточно длительной (> 15 мин) адаптации к темноте. Обычно указывается количество таких звёзд на полной небесной сфере, тогда как одновременно даже при полностью открытом горизонте можно наблюдать лишь около 40% этих звёзд из-за сильного поглощения света в атмосфере вблизи горизонта.

Разные авторы указывают различное число доступных глазу звёзд. Часто в научно-популярной литературе можно увидеть цифру 6000. Число видимых звёзд чрезвычайно сильно зависит от состояния неба. Например, в условиях ночного освещения городов обычно видны лишь звёзды ярче 4^m , которых на всём небе не более 500. С другой стороны, в высокогорных условиях человек с острым зрением после длительной (> 40 мин) темновой адаптации замечает звёзды до 7^m , которых около 15 000. Но в типичных условиях загородного неба при небольшой высоте над уровнем моря (около 500 м) человек с нормальным зрением видит звёзды приблизительно до 6^m , которых на всём небе около 4800.

КОЛЬЦА ПЛАНЕТ — потоки твёрдых частиц, движущихся в близких окрестностях планет-гигантов Солнечной системы. Состоят из мелких тел. Рыхлые снежные комья, ледяные глыбы, пылевые частицы обращаются вокруг планеты в одном направлении, преимущественно в её экваториальной плоскости, и образуют систему тонких концентрических колец. Наиболее плотные области колец простираются от верхних слоёв атмосферы до расстояния в несколько радиусов планеты. Но разреженные кольца могут наблюдаться во всей области, занятой спутниками планеты, и при этом не лежать в экваториальной плоскости планеты.

Наиболее яркие кольца планет были открыты у Сатурна с началом телескопических наблюдений (XVII в.). Помимо Сатурна, кольца имеют Юпитер, Уран и Нептун. Сложная структура колец связана с гравитацион-



Кольца Сатурна. Фото: NASA

ным влиянием на них со стороны спутников планеты. По современным представлениям, кольца планет образованы остатками газово-пылевого облака, некогда окружавшего формирующуюся планету. Во внешних частях этого облака миллиарды лет назад произошло образование спутников планет, а его внутренние части сохранились в раздробленном состоянии, приняв форму плоских колец. Некоторые кольца могут иметь временный характер и быть образованы веществом, выброшенным с поверхности спутников в результате их внутренней активности (криовулканизм и пр.) или сильного удара по их поверхности.

КОМЕТА — малое тело Солнечной системы, состоящее из льда и пыли. Характерными признаками комет, наблюдающимися при их приближении к Солнцу, служат кома (газ и пыль, окружающие твёрдое ядро) и длинный хвост (один или несколько, из ионизованного газа и пыли). Характерный размер твёрдого ядра кометы оценивается от единиц до нескольких десятков километров. В 2020 г. известно около 800 периодических (иногда говорят «короткопериодических») комет, имеющих орбитальный период менее 200 лет, а также несколько тысяч долгопериодических или непериодических комет, наблюдавшихся лишь при одном прохождении вблизи Солнца и имеющих либо очень большие орбитальные периоды, либо межзвёздное происхождение. Единожды в 2019–2020 гг. наблюдался пролёт через Солнечную систему несомненно межзвёздной кометы (2I/Borisov).

Долгопериодические кометы прилетают с расстояний, в тысячи раз больших, чем до самых далёких планет, причём их орбиты наклонены под всевозможными углами. Короткопериодические кометы приходят из района внешних планет, двигаясь в прямом направлении по орбитам, лежащим недалеко от эклиптики. Вдали от Солнца кометы обычно не имеют хвостов, но иногда имеют еле видимую кому, окружающую более яркое оптическое ядро; вместе их называют головой кометы. С приближением к Солнцу голова увеличивается и появляется хвост.

Приближаясь к Солнцу, твёрдое ядро кометы нагревается, и льды сублимируют-



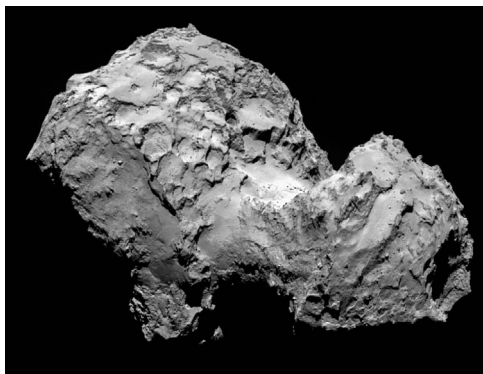
Комета Хейла – Боппа (C/1995 O1). Фото получено 4 апреля 1997 г. Размер кадра 6,5°×6,5°. Экспозиция 10 мин. Авторы: E. Kolmhofer, H. Raab; Johannes-Kepler-Observatory, Linz, Austria

ся, т. е. испаряются без плавления. Образовавшийся газ разлетается во все стороны от ядра, унося с собой пылинки и образуя кому. Разрушающиеся под действием солнечного света молекулы воды формируют вокруг ядра кометы огромную водородную корону, диаметр которой бывает больше Солнца. Помимо солнечного притяжения на разреженное вещество кометы действуют и отталкивающие силы, благодаря которым образуется хвост. На нейтральные молекулы, атомы и пылинки действует давление солнечного света, а на ионизованные молекулы и атомы сильнее влияет давление солнечного ветра. Плазменный хвост, состоящий из заряженных частиц, имеет сложную магнитную структуру. На обращённой к Солнцу стороне комы формируется лобовая ударная волна, проявляющая высокую плазменную активность. Хотя в хвосте и коме заключено менее одной миллионной доли массы кометы, 99,9% света исходит именно из этих газовых образований и только 0,1% — от ядра. Дело в том, что ядро очень компактно и к тому же может иметь низкий коэффициент отражения (альбедо). С приближением к Солнцу комета в целом быстро увеличивает свою яркость (см. *Абсолютная звёздная величина кометы*).

Потерянные кометой пылинки движутся по своим орбитам и, попадая в атмо-

сферы планет, становятся причиной метеоров. Большинство наблюдаемых нами метеоров связано именно с кометными частицами. Иногда разрушение комет носит более катастрофический характер. Открытая в 1826 г. комета Биелы в 1845 г. на глазах у наблюдателей разделилась на две части. Когда в 1852 г. её видели в последний раз, куски её ядра удалились друг от друга на миллионы километров. Деление ядра обычно предвещает полный распад кометы. Когда в 1872 г. и 1885 г. комета Биелы должна была пересекать орбиту Земли, наблюдались необычайно обильные метеорные дожди. Иногда кометы разрушаются при сближении с планетами, как это произошло, например, 1992 г. с кометой Шумейкеров — Леви-9, разрушившейся вблизи Юпитера, а затем по частям упавшей на него.

Короткопериодические кометы часто сближаются с Солнцем, интенсивно испаряются и поэтому живут недолго. После нескольких сотен или тысяч таких пролётов в ядре не остаётся легкоплавких веществ, и оно перестаёт быть видимым. Для регулярно сближающихся с Солнцем короткопериодических комет это означает, что менее чем за миллион лет их популяция должна стать невидимой. Но мы их наблюдаем, значит, эта группа постоянно пополняется. Это происходит в результате «захвата» летящих издалека комет планетами, в основном Юпитером. Раньше считалось, что захватываются кометы из числа долгопериодических, приходящих из облака Оорта, но теперь думают, что их источником служит кометный диск, называемый внутренним облаком Оорта. В принципе представление об облаке Оорта не изменилось, но расчёты показали, что приливное влияние Галактики и массивных облаков межзвёздного газа должны довольно быстро разрушать его. Нужен источник его пополнения. Таким источником теперь считают внутреннее облако Оорта, значительно более устойчивое к приливному влиянию и содержащее на порядок больше комет, чем внешнее. После каждого сближения Солнечной системы с массивным межзвёздным облаком кометы из внешнего облака Оорта разлетаются в межзвёздное пространство, а им



Ядро кометы Чурюмова — Герасименко (67P), сфотографированное 3 августа 2014 г. зондом Rosetta (ESA). Размер ядра $4,3 \times 4,1$ км

на смену приходят кометы из внутреннего облака.

Переход кометы с почти параболической орбиты на короткопериодическую происходит в том случае, если она догоняет планету сзади. Обычно для окончательного перехода требуется несколько проходов кометы через планетную систему. Результирующая орбита кометы, как правило, имеет небольшое наклонение и большой эксцентриситет, а комета получает прямое движение. Её афелий лежит вблизи орбиты захватившей её планеты. Эти теоретические соображения полностью подтверждаются статистикой кометных орбит.

Газообразные продукты сублимации оказывают реактивное давление на ядро кометы, изменяя её орбиту. Наиболее активно вещество испаряется с нагретой Солнцем «послеполуденной» стороны ядра, поэтому направление давления на ядро не совпадает с направлением солнечных лучей и солнечного тяготения. Если осевое вращение ядра и его орбитальное обращение происходят в одном направлении, то давление газа в целом ускоряет движение ядра, приводя к увеличению орбиты; если вращение и обращение происходят в противоположных направлениях, движение кометы тормозится и орбита сокращается. Если такая комета первоначально была захвачена Юпитером, то через некоторое время её орбита целиком оказывается в области внутренних планет.

Особая группа — короткопериодические кометы (их называют «кометы, задевающие

Солнце»). Вероятно, они образовались тысячелетия назад в результате приливного разрушения крупного, не менее 100 км в диаметре, ядра. После первого катастрофического сближения с Солнцем фрагменты ядра совершили около 150 оборотов, продолжая распадаться на части. Двенадцать членов этого семейства комет Крейца наблюдалось между 1843 и 1984 гг. Возможно, их происхождение связано с большой кометой, которую видел Аристотель в 371 г. до н. э.

Наблюдение комет и даже их открытие нередко совершается любителями астрономии; некоторым из них удается открыть много комет.

Яркие кометы привлекают всеобщее внимание. В прошлом их появление вызывало страх и служило источником вдохновения для художников. Интерес учёных к кометам связан с тем, что в их твёрдых ядрах при низкой температуре миллиарды лет сохраняется исходное вещество, из которого сформировалась Солнечная система. При сближении кометы с Солнцем все её внешние проявления так или иначе связаны с ядром. Американский астроном Фред Уиппл (1906–2004) предположил, что оно является монолитным телом в основном из водяного льда и частиц пыли. Такая модель «грязного снежка» легко объясняет многократные пролёты комет вблизи Солнца: каждый раз с ядра испаряется тонкий поверхностный слой (0,1–1% полной массы), сохраняя внутреннюю часть. Возможно, ядро является конгломератом нескольких «кометезималей», каждая не более 1 км в диаметре. Такая структура могла бы объяснить распад ядер на части, как это наблюдалось у кометы Биелы в 1845 г. или у кометы Веста в 1976 г.

Сближения космических зондов с ядрами нескольких комет, начиная с кометы Галлея, позволило рассмотреть их детально: внешне они скорее напоминают монолиты, чем груды камней.

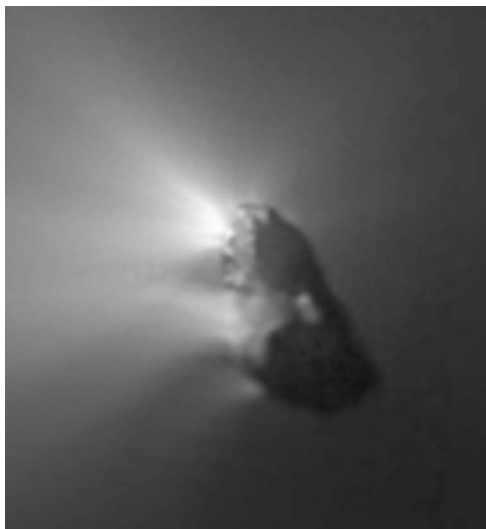
КОМЕТА ГАЛЛЕЯ — самая знаменитая из всех комет; единственная из короткопериодических комет (имеющих орбитальный период менее 200 лет), легко доступная для наблюдения невооружённым глазом. В исторических хрониках отмечено 30 её появлений: начиная с 240 г. до н. э. она наблюдалась

каждый раз при своём возвращении к Солнцу, без единого пропуска.

Комета Галлея была первой, для которой удалось предсказать, что она будет периодически возвращаться в центральную область Солнечной системы. Используя математический аппарат, разработанный Исааком Ньютоном, его коллега Эдмунд Галлей (1656–1742) вычислил параметры орбит 24 комет, наблюдавшихся астрономами ранее. Оказалось, что кометы, появлявшиеся в 1531, 1607 и 1682 гг., имели похожие орбиты. Галлей предположил, что это один и тот же объект, и предсказал, что комета, носящая сейчас его имя, вернётся к Солнцу в конце 1758 г. или в начале 1759 г. Когда в конце 1758 г. немецкий любитель астрономии Иоганн Палич обнаружил комету на небе, это стало триумфом расчётов Галлея и положенных в их основу законов Ньютона.

Орбитальный период кометы Галлея около 75,3 года. За это время она успевает пройти на расстоянии 0,586 а. е. от Солнца, удалиться от него на 35,1 а. е. (за орбиту Нептуна) и вернуться к Солнцу. В 1910 г. Земля прошла сквозь хвост этой кометы; это было безопасно, хотя вызвало тревогу у многих людей. Последний раз комета Галлея появилась в марте 1986 г., когда её наблюдали не только любители астрономии и профессиональные учёные, но и пять международных космических аппаратов. Это было первое в истории исследование ядра кометы с близкого расстояния, позволившее получить его изображение. Японские зонды «Сакигакэ» и «Суйсей» издали наблюдали огромное водородное облако, окружающее комету, и исследовали взаимодействие кометы с заряженными частицами солнечного ветра.

Советские зонды «Вега-1 и -2» прошли 6 и 9 марта на расстояниях 8871 и 8014 км от ядра кометы. Зонд ESA «Джотто» прошёл 14 марта всего в 605 км. Телевизионные изображения, переданные этими зондами, показали чёрное ядро кометы. Сопоставив наземные и космические наблюдения газа и пыли, окружающих ядро, учёные определили, что оно примерно на 50% состоит из льда, а остальное составляют пыль и другие нелетучие вещества. Лёд состоит в основном из воды (80%) и окиси углерода (10%),



Ядро кометы Галлея (1P/Halley) размерами 15×8 км. Фото получено 14 марта 1986 г. космическим зондом «Джотто» (ESA)

а остальное — формальдегид, двуокись углерода, метан, аммиак и синильная кислота. Количество пыли вблизи ядра оказалось значительно выше ожидаемого.

Внешне ядро кометы Галлея представляет собой картофелеобразный объект размерами около $15 \times 10 \times 8$ км. Масса ядра 220 млрд т, а средняя плотность около $0,6 \text{ г/см}^3$ (во всяком случае — от 0,2 до $1,5 \text{ г/см}^3$). Ядро покрывает очень тёмная кора: она чернее угля, от неё отражается только 4% света. Возможно, кора покрыта слоем органических соединений. В некоторых местах коры видны разломы, сквозь которые просматривается подкорковое вещество, состоящее в основном из водяного льда с вкраплениями тёмных пылинок. Поскольку ядро кометы вращается вокруг своей оси с периодом около двух суток, лед испаряется Солнцем и превращается в газ, который, вылетая из ядра, захватывает с собой пылевые частицы. Скорость убегания с поверхности ядра всего около 2 м/с. Именно это ядро, похожее на небольшой грязный айсберг, в период сближения с Солнцем составляет весь газ и пыль, образующие неопытную атмосферу и хвост кометы. С кометой Галлея, теряющей по пути пыль, связаны два ежегодных метеорных потока: Эта-Аквариды, наблюдающийся с 24 апре-

ля по 20 мая, и Ориониды, наблюдающийся 17–26 октября.

На своем длинном пути по орбите комета Галлея попадает под действие гравитационного притяжения планет, мимо которых она проходит, а приблизившись к Солнцу, ощущает слабую отдачу от испаряющихся с поверхности её ядра газов. Под действием этих возмущений орбитальный период кометы может меняться на несколько лет от одного её появления до другого. Расчёт движения кометы Галлея в прошлое позволяет вычислить каждое из её 30 появлений между 240 г. до н. э. и 1986 г. Следующие по времени два её прохождения близ Солнца ожидаются 28 июля 2061 г. и 27 марта 2134 г. К сожалению, во время возвращения в 2061 г. комета не подойдёт к Земле ближе чем на 71 млн км. А возвращение 2134 г. будет более впечатляющим, так как комета 7 мая 2134 г. будет находиться от Земли на расстоянии 13,7 млн км.

КОМЕТА ШУМЕЙКЕРОВ—ЛЕВИ-9 — первая комета, падение которой на планету было предвычислено и наблюдалось учёными. 24 марта 1993 г. на обсерватории Маунт Паломар (Калифорния) астрономы Кэролайн и Юджин Шумейкеры совместно с Дэвидом Леви открыли недалеко от Юпитера комету с уже разрушенным ядром. Вычисления показали, что 9 июля 1992 г. комета Шумейкеров—Леви-9 (это была уже девятая комета, открытая ими) прошла вблизи Юпитера на расстоянии половины радиуса планеты от её поверхности и была разорвана его притяжением более чем на 20 частей. До разрушения радиус её ядра составлял около 20 км. Растянувшись в цепочку, осколки кометы удалились от Юпитера по вытянутой орбите, а в июле 1994 г. вновь приблизились к нему и один за другим столкнулись с облачной поверхностью Юпитера. Вызванные столкновениями взрывы наблюдались наземными и космическими телескопами, а также с борта межпланетного зонда. Разрушив в местах столкновения верхний слой облачности, эти взрывы помогли астрономам поглубже заглянуть в атмосферу Юпитера.

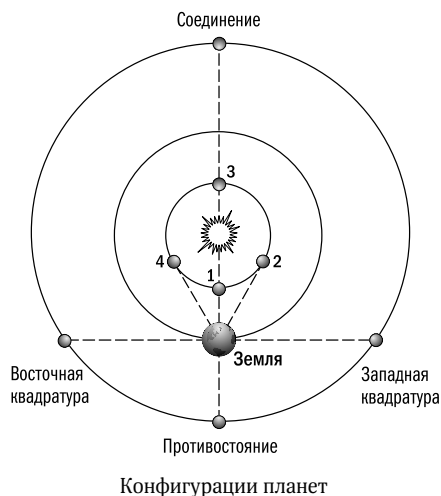
КОМПАС — небольшое экваториальное созвездие. Введено Н. Лакайлем (1713–1762) в 1754 г. под названием «Компас мореплава-

теля». Граничит с созвездиями Корма и Паруса, которые вместе с созвездием Киль составляли в прошлом большое созвездие Корабль Арго, но в 1756 г. были разделены Лаккилем. Компас не был выделен из Корабля Арго, но он так точно расположился среди прочих частей Корабля, что их стали считать единым историческим целым. Значительная часть созвездия расположена на Млечном Пути. Самый интересный объект в Компасе — повторная новая Т Рух, которая ярко вспыхивала в 1890, 1902, 1920, 1944, 1966 и 2011 гг. Есть подозрение, что белый карлик в этой двойной звёздной системе, несмотря на вспышки, увеличивает свою массу и уже близок к пределу Чандрасекара. Перейдя этот рубеж, звезда взорвётся как сверхновая типа Ia. В спокойном состоянии блеск Т Рух колеблется около $15,5^m$, а во время вспышки достигает 6^m . Хотя склонение этой звезды -32° , из южных районов России с некоторым трудом её можно наблюдать.

КОНТАКТНАЯ ДВОЙНАЯ — тесная двойная система на поздней стадии эволюции, в которой оба компонента заполнили свою полость Роша (см. *Полость Роша*). Когда оба компонента (т. е. обе звезды) достигают поверхности своей полости Роша, то говорят, что они образовали контактную двойную систему. Местом их контакта служит внутренняя точка Лагранжа. Чаще оба компонента выходят за эквипотенциальную поверхность и обретают общую конвективную оболочку. Такую конфигурацию иногда называют сверхконтактной двойной. При дальнейшем расширении оболочка достигает своей внешней эквипотенциальной поверхности и через внешние точки Лагранжа система начнет терять вещество.

КОНТИНУУМ — участки спектра между спектральными линиями, то есть «ровные» участки, не имеющие деталей. Интенсивность (эквивалентную ширину) спектральных линий измеряют по отношению к уровню близлежащего континуума. В отсутствие спектральных линий континуум представляет непрерывный спектр.

КОНФИГУРАЦИИ — характерные взаимные положения планет, Луны и других тел Солнечной системы относительно Земли и Солнца. Различают верхние (3) и нижние



(1) соединения планет с Солнцем, наибольшие восточные (4) и западные (2) элонгации, противостояние планет, восточные и западные квадратуры. Лунные конфигурации характеризуют фазами Луны.

КООРДИНАТЫ АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ — координаты для сравнения с каталожными положениями звёзд. Астрометрические координаты обычно относятся к среднему равноденствию определённой эпохи (B1950, J2000). Для планет и комет астрометрические координаты даются с учётом времени распространения света.

КООРДИНАТЫ ВИДИМЫЕ — координаты светила, которые нужны, например, для наведения на него телескопа с разделёнными кругами. Видимые координаты связаны с действительной ориентацией земной оси и поэтому содержат поправки за прецессию и нутацию. Кроме того, учитывается звёздная абберация, а для тел Солнечной системы также время распространения света.

КООРДИНАТЫ ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИЕ — координаты в какой-либо системе координат (например, эклиптической — долгота и широта), начало отсчёта которой расположено в центре Солнца.

КООРДИНАТЫ ГЕОЦЕНТРИЧЕСКИЕ — координаты в какой-либо системе координат (например, экваториальной — прямое восхождение и склонение), начало отсчёта которой расположено в центре Земли.

КООРДИНАТЫ ТОПОЦЕНТРИЧЕСКИЕ — координаты относительно места наблюдения

на поверхности Земли. Топоцентрические и геоцентрические координаты различаются на величину суточного параллакса.

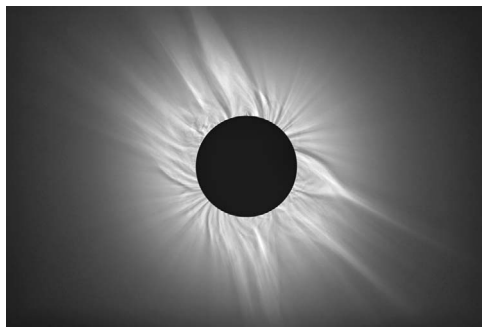
КОРИЧНЕВЫЕ КАРЛИКИ, или **бурые карлики**, — космические тела, занимающие по своим массам промежуточное положение между звёздами и планетами. Коричневые карликами принято называть объекты с массами приблизительно от 0,01 до $0,08 M_{\odot}$. От нормальных звёзд отличаются тем, что температура в их недрах никогда не достигает значений, необходимых для протекания важнейшей термоядерной реакции — превращения лёгкого изотопа водорода (^1H) в гелий (^4He), которая обеспечивает длительное свечение обычных звёзд. Именно этим и определяется верхняя граница их массы: (0,075–0,08) $M_{\odot}$. Но по сравнению с планетами, вообще не способными к термоядерному синтезу, коричневые карлики на начальном этапе своей жизни всё же разогреваются настолько, что «сжигают» в термоядерных реакциях некоторые редкие элементы, например тяжёлый изотоп водорода — дейтерий (^2H), а также литий. Это делает их на короткое время похожими на звёзды. Нижняя граница массы коричневых карликов, отделяющая их от планет, имеет значение около 13 масс Юпитера ($\approx 0,01 M_{\odot}$).

Температура поверхности коричневых карликов обычно не превышает 2000 К, а у многих даже близка к 1000 К. Поэтому они имеют тёмно-красный или даже инфракрасный цвет. Отсюда и английское название этих объектов — brown dwarf, которое некоторые авторы переводят на русский язык как «бурый карлик». Для таких относительно холодных объектов введены новые спектральные классы: L (1300–2000 К), T (700–1300 К) и Y (<600 К). Светимость коричневых карликов $L \sim (10^{-4}–10^{-5})L_{\odot}$. Они излучают энергию за счёт медленного сжатия ядра. Характерная длительность излучения около 15 млн лет. Затем сжатие останавливается, и равновесие объекта поддерживается давлением вырожденного электронного газа, препятствующего гравитационному сжатию. Остывая, коричневые карлики превращаются в «чёрные карлики». Первый коричневый карлик был обнаружен в 1996 г., и у астрономов появилась надежда, что остыв-

шие коричневые карлики, если они многочисленны, могут играть роль скрытой массы Галактики. Но предварительные подсчёты показывают, что их недостаточно для решения проблемы тёмного вещества.

КОРМА — крупное экваториальное созвездие, часть некогда очень большого созвездия Корабль Арго. Лежит в Млечном Пути, содержит много интересных звёзд, среди которых затменная переменная V Pup, меняющая свою звёздную величину от 4,74 до 5,25 с периодом 1,45 сут; весь её цикл можно наблюдать невооружённым глазом. Ярчайшая звезда в созвездии — ζ Pup по имени Наос. Это голубой сверхгигант очень редкого спектрального класса O5, одна из самых горячих и мощных звезд: её светимость в 300 тыс. раз выше солнечной. Одной из ярчайших новых прошлого столетия была CP Pup: 11 ноября 1942 г. её блеск достиг 0,3^m.

КОРОНА (в астрономии) — внешняя часть солнечной атмосферы, которую удаётся наблюдать в моменты полных солнечных затмений или с помощью специальных телескопов — коронографов, в которых закрывается изображение яркого солнечного диска. Корона очень горячая, поэтому в основном излучает рентгеновские лучи и служит источником солнечного ветра, т. е. быстрых потоков плазмы, растекающихся от Солнца в межпланетное пространство (см. *Солнечная корона*). По-видимому, большинство звёзд имеет короны, подобные солнечной.



Солнечная корона в момент полного затмения 29 марта 2006 г. Фото: В. Хондырев и др. (публикуется с разрешения авторов)

КОРОНАЛЬНАЯ ДЫРА — область в солнечной короне, характеризующаяся пониженной плотностью и температурой вещества

короны, а также слабой эмиссией электромагнитного излучения во всём диапазоне длин волн. Корональные дыры служат источниками высокоскоростных потоков солнечного ветра.

КОРОНИЙ — гипотетический химический элемент, которому в начале XX в. приписывались яркие линии в спектре солнечной короны. В 1939–1941 гг. было убедительно доказано, что загадочные линии «корония» принадлежат многократно ионизованным атомам железа, никеля и кальция. См. также *Мистериум* и *Небулий*.

КОРОНОГРАФ — телескоп для наблюдения солнечной короны в периоды между затмениями. В его фокальной плоскости, где объектив строит изображение Солнца, находится круглая заслонка, — «искусственная Луна», закрывающая изображение яркой фотосферы, но оставляющая видимой корону. На космических телескопах и наземных телескопах с системой адаптивной оптики используют «звёздный коронограф», в котором затемняется изображение яркой звезды для поиска в её окрестности слабых объектов: звёзд-спутников, планет или околозвёздного газово-пылевого диска.

КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ — область радиоастрономии, в которой для интерферометрических измерений по крайней мере один радиотелескоп выводит-ся за пределы Земли.

Быстрый прогресс радиоастрономии начался после Второй мировой войны, когда радары были обращены к небу. Но для получения изображений длинноволновых радиоисточников с высоким угловым разрешением требовались гигантские радиотелескопы. Астрономы Кембриджского университета в 1950–1960-х гг. разработали метод апертурного синтеза, позволяющий объединить сигналы от нескольких удалённых друг от друга радиотелескопов и получить разрешающую силу как у одного огромного инструмента. К 1980-м гг. телескопы разных частей света объединялись в общую систему размером с Землю, работающую по принципу интерферометра со сверхдлинной базой (Very long baseline interferometry, VLBI). Повысить разрешение можно было, лишь добавив к этой системе телескопы на

высоких околоземных орбитах или на орбите вокруг Солнца.

Первые эксперименты по космической VLBI проводились в 1980-х гг. с помощью радиотелескопа KPT-10 на советской орбитальной станции «Салют-6» и с помощью американского спутника связи TDRS-1. А первым полноценным телескопом для космической радиоинтерферометрии стал японский спутник «VLBI Space Observatory Project» (VSOP), который после запуска на орбиту 12 февраля 1997 г. получил имя «Харука» (HALCA). На спутнике имелся радиотелескоп диаметром 8 м для проведения интерферометрических наблюдений, база которых превышает диаметр Земли в 2,5 раза. Наблюдения с помощью этого спутника проводились до конца 2005 г.

В июле 2011 г. в рамках международного проекта «Радиоастрон» в России был запущен аппарат «Спектр-Р», имеющий параболическую антенну диаметром 10 м и четыре приёмника в диапазонах от 0,33 до 25 ГГц (длина волны от 1,2 до 92 см). Двигаясь по высокой геоцентрической орбите, он удалялся от Земли в апогее на 340 тыс. км (более 26 диаметров Земли) и использовался как элемент радиоинтерферометра. Наблюдения проводились до начала 2019 г.

Спутники используют также для изучения очень длинных радиоволн, излучаемых Солнцем, магнитосферами планет-гигантов и межзвёздной средой. Поверхности Земли эти волны не достигают, поскольку отражаются от ионосферы. Поэтому «Эксплорер-49» с аппаратурой для регистрации сверхдлинных волн был запущен 10 июня 1973 г. на орбиту вокруг Луны. Чтобы укрыться от помех, возможно, со временем вся радиоастрономия переместится на обратную сторону Луны и будет использовать наш естественный спутник как экран от земных радиопомех.

КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ — высокоэнергичные ядра атомов и элементарные частицы космического происхождения. Поток космических лучей, приходящий из межзвёздного пространства, постоянно бомбардирует Землю. Иногда его интенсивность резко возрастает за счёт частиц, порождаемых вспышками на Солнце. В состав кос-

мических лучей входят электроны, протоны (ядра атомов водорода) и ядра более тяжёлых элементов — гелия, кислорода, углерода, азота и др. Количественно они представлены примерно так же, как химические элементы в атмосфере Солнца и других звёзд.

Космическими лучами обычно называют частицы с кинетической энергией $E_k > 100$ МэВ, т. е. 10^8 эВ, а менее энергичные, но все ещё быстрые частицы именуют субкосмическими лучами. Земная атмосфера задерживает космические лучи, но при их столкновении с атомами воздуха рождаются «ливни» элементарных частиц, достигающих поверхности Земли; их называют вторичными космическими лучами.

Солнечные космические лучи имеют сравнительно низкую энергию, обычно не выше 10 ГэВ (10^{10} эВ). Гораздо более энергичные частицы приходят из Галактики и, возможно, внегалактического пространства: их энергия достигает 10^{20} эВ. Если вспомнить, что лучшие лабораторные ускорители разгоняют частицы до энергии порядка 10^{12} эВ, становится понятным, почему физики так интересуются частицами космических лучей: такие мощных «снарядов» для бомбардировки элементарных частиц и исследования их внутренней структуры невозможно получить в лаборатории.

Установить источники галактических космических лучей не удастся: двигаясь в межзвёздном магнитном поле, частицы теряют первоначальное направление полёта, их траектории запутываются, и они приходят к Земле со всех сторон одинаково часто. Косвенно выясняется, что «ускорителями» космических лучей служат взрывы сверхновых звёзд, высокая активность молодых пульсаров и тесные двойные системы, где частицы разгоняются до больших энергий в сильных переменных магнитных полях вблизи компактной звезды.

КОСМИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ — обычно употребляемые в космонавтике характерные скорости движения тел вблизи планеты массы M и радиуса R . Для обращения вокруг планеты по низкой круговой орбите спутнику нужна 1-я космическая скорость, называемая также «круговой скоростью»; обо-

значается как V_1 , V_1 , $V_{\text{сг}}$ или $V_{\text{кр}}$. Величина $V_1 = \sqrt{GM/R}$; её значение у поверхности Земли 7,9 км/с, на низкой орбите ($H = 200$ км) около 7,8 км/с, а у орбиты Луны ($R = 400 M_{\text{м}}$) около 1 км/с.

Чтобы при старте с поверхности планеты лишённой атмосферы вырваться из поля её притяжения, телу необходимо сообщить скорость не меньше 2-й космической; другие её названия — скорость убегания, скорость ухода, скорость освобождения, скорость ускользания, параболическая скорость, критическая скорость. Обозначается как V_{II} , V_2 , $V_{\text{оцв}}$, V_{esc} или V_{∞} (последнее обозначение нежелательно, поскольку в космонавтике его используют для «остаточной скорости», или «гиперболического избытка скорости»: $V_{\infty}^2 = V^2 - V_{\text{esc}}^2$). Величина $V_{\text{II}} = \sqrt{2GM/R}$ составляет у поверхности Земли 11,2 км/с. Движение со второй космической скоростью совершается по параболе или прямой.

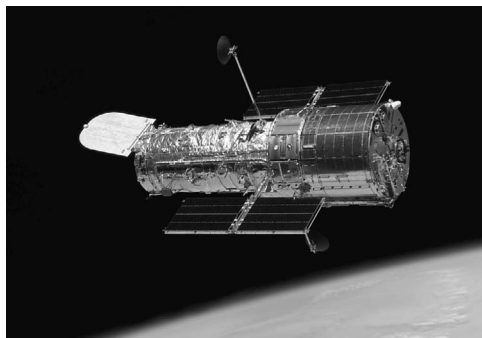
Кроме этих двух общепринятых величин скорости существуют ещё две редкоупотребимые величины: 3-я и 4-я космические скорости — это скорости ухода, соответственно, из Солнечной системы и Галактики. Их точные значения нельзя определить по ряду причин. Например, 3-ю космическую скорость обычно определяют как параболическую при $M = M_{\odot}$ (масса Солнца) и $R = 1$ а. е. (радиус орбиты Земли), получая значение $V_3 = 42$ км/с. Но при старте с поверхности Земли или с околоземной орбиты необходимо преодолеть ещё притяжение планеты. Выйдя из сферы притяжения Земли (практически удалившись от неё на несколько диаметров планеты), аппарат сохраняет орбитальную скорость Земли (29,8 км/с), поэтому необходимое приращение скорости до 42 км/с зависит от того, в каком направлении аппарат должен покинуть Солнечную систему. Взлетая с поверхности Земли и наилучшим образом используя орбитальное движение планеты, аппарат может при старте иметь 3-ю космическую скорость всего 16,6 км/с, а для полёта в неблагоприятном направлении его необходимо разогнать до 72,8 км/с! Если к тому же учесть притяжение других планет, которое может как ускорить, так и притормозить аппарат, то диапазон возможных зна-

чений 3-й космической скорости станет ещё больше.

По тем же причинам нельзя указать точное значение 4-й космической скорости, необходимой для межзвёздных и межгалактических путешествий. Солнце обращается вокруг центра Галактики со скоростью около 220 км/с. Поэтому для путешествия к центру нашей звёздной системы эту скорость нужно погасить. А чтобы отправиться к периферии Галактики или выйти за её пределы, необходимо к орбитальной скорости Солнца добавить ещё 250–300 км/с (точное значение неизвестно, поскольку нет надёжных данных о распределении вещества в Галактике).

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП «ДЖЕЙМС УЭББ», или **«Джеймс Вебб»** (James Webb Space Telescope, JWST) — автоматическая внеатмосферная обсерватория NASA, ESA и Канадского космического агентства, запуск которой в космос планировался на 2018 г., но из-за финансовых и прочих проблем несколько раз переносился и сейчас (2020 г.) намечен на 31 октября 2021 г. Масса аппарата 6200 кг. Телескоп — трёхзеркальный анастигмат Корша с камерами ближнего и среднего ИК-диапазонов (λ от 0,6 до 28,5 мкм). Главное зеркало телескопа диаметром около 6,5 м — составное складное. Предполагается запустить аппарат ракетой «Ариан-5» с космодрома в Куру. Он должен быть выведен в точку Лагранжа L_2 системы Земля — Солнце, на расстоянии 1,5 млн км от Земли в направлении, противоположном Солнцу.

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП «ХАББЛ» — автоматическая внеатмосферная обсерватория NASA и ESA, работающая на околоземной орбите высотой около 560 км. Названа в честь американского астронома Эдвина Хаббла (1889–1953). Запущена с помощью шаттла «Дискавери» 25 апреля 1990 г. Её телескоп системы Ричи — Кретьена с главным зеркалом диаметром 2,4 м получает изображения в оптическом, ближнем инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах спектра с угловым разрешением 0,1", что значительно лучше, чем у наземных телескопов. Масса обсерватории 11 т. Работой телескопа управляют с Земли; в выборе объектов



Космический телескоп «Хаббл» (NASA, ESA)

наблюдения и обработке результатов участвуют специалисты всех стран. Несколько раз экипажи астронавтов на борту шаттлов посещали «Хаббл» для ремонта и замены приборов. Планируется, что работа телескопа «Хаббл» продлится до 2030–2040 гг.

КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО — пространство за пределами атмосферы Земли. Границу между атмосферой и космическим пространством разные специалисты определяют по-разному. Одно из определений основано на том факте, что на высоте около 100 км над уровнем моря плотность воздуха уже столь мала, что для создания достаточной подъёмной силы крыла самолёт должен двигаться с первой космической скоростью — примерно 7,9 км/с. Но в таком случае крыло ему уже не требуется, поскольку он становится искусственным спутником Земли. Венгерско-американский инженер и физик Теодор Карман (Theodore von Kármán, 1881–1963) предложил считать высоту в 100 км границей атмосферы (линия Кармана), выше которой пространство можно считать космическим. Эта граница принята как официальная в рамках Международной авиационной федерации; она считается водоразделом между авиацией и астронавтикой. С другой стороны, для космических кораблей, возвращающихся на Землю, а также для метеороидов атмосферные эффекты становятся заметными начиная с высоты 120 км. Поэтому нередко именно эту высоту считают границей атмосферы и космического пространства.

КОСМОГОНИЯ (от греч. *kosmo*, *kosmos* Вселенная, *gonea*, *goneas* родитель) — раздел астрономии, занимающийся изучением

происхождения и эволюции небесных тел: звёзд (в том числе Солнца), планет (в том числе Земли) и других тел планетных систем. Наиболее развиты космогония Солнечной системы (планетная космогония) и звёздная космогония. Во 2-й половине XX в. в планетной космогонии утвердилась гипотеза о происхождении Солнца и планет из единого холодного газово-пылевого облака (гипотеза Канта и Лапласа, развитая О. Ю. Шмидтом, Ф. Хойлом, А. Камероном, Э. Шацманом и др.).

КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ ПОСТОЯННАЯ (Λ) — постоянная величина, первоначально введенная в уравнения общей теории относительности для получения решения, описывающего статическую Вселенную. В настоящее время она интерпретируется как постоянная плотность энергии вакуума, сообщаемой ему свойство антигравитации.

КОСМОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ — математические модели эволюции однородной Вселенной, которые следуют из решения уравнений тяготения А. Эйнштейна в применении ко Вселенной в целом. Для изотропной и однородной в больших масштабах Вселенной эти уравнения дают различные космологические модели в зависимости от значений средней плотности ρ материи во Вселенной, постоянной Хаббла H_0 и космологической постоянной Λ . В принципе геометрия Вселенной может быть замкнутой (наблюдаемое расширение в будущем сменится сжатием) или открытой (вечное расширение), причём в открытой модели расширение может быть как замедляющимся, так и ускоряющимся. Согласно современным данным, в природе реализуется именно последний вариант — взаимное удаление галактик в последние несколько миллиардов лет происходит с ускорением.

КОСМОЛОГИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ — нестационарность Вселенной, проявляющаяся в её расширении: расстояние между любыми двумя достаточно удалёнными объектами (например, скоплениями галактик) увеличивается со временем по единому закону (см. *Космологические модели*). Космологическое расширение приводит к эффекту «разбегания» галактик со скоростями, возрастающими с расстоянием до галактик,

что установлено по красному смещению линий в их спектрах (см. *Закон Хаббла*).

КОСМОЛОГИЯ — физическое учение о строении и эволюции Вселенной как единого целого. Находится на стыке астрономии, теории гравитации и физики элементарных частиц. В рамках космологии учёные ищут объяснение фундаментальным свойствам наблюдаемой Вселенной и изучают ранние, дозвёздные стадии её развития.

КОСМОС — в широком смысле весь материальный мир, вся вселенная, мироздание. В узком смысле — мировое пространство за пределами Земли, за границей земной атмосферы. Формальной границей земной атмосферы считается высота 100 км над уровнем моря. Слово происходит от греческого *κοσμος* — порядок, красота, упорядоченная Вселенная (в противоположность хаосу). В космонавтике выделяют «ближний космос», исследуемый при помощи искусственных спутников Земли и межпланетных космических аппаратов, и «дальний космос» — мир звёзд и галактик.

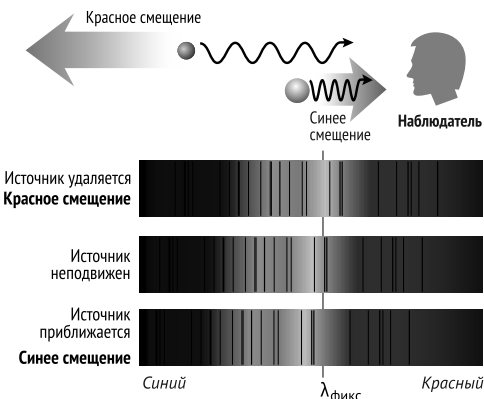
КРАБОВИДНАЯ ТУМАННОСТЬ — светлая газовая туманность в созвездии Телец, остаток взрыва сверхновой, оптическая вспышка которой наблюдалась в 1054 г. Объект расположен на расстоянии около 2 кпк от Солнца. Имеет обозначения NGC 1952 или M1 (по каталогу Ш. Мессье); радиоисточник Тау А. Остатки взрыва расширяются сейчас со скоростью 1200 км/с и видны как эллипсовидная волокнистая туманность общим блеском 8,4^m и угловым размером 7'×5', что на указанном расстоянии соответствует линейному размеру около 3,5 пк. Газовая оболочка Крабовидной туманности расширяется со скоростью более 1000 км/с. Близ центра туманности находится ядро взорвавшейся звезды — нейтронная звезда-пульсар PSR J0534+2200, вспыхивающая с периодом 0,033 секунды в радио-, оптическом, рентгеновском и γ -диапазонах. Вблизи пульсара до настоящего времени происходит ускорение заряженных частиц (космических лучей) до очень высоких энергий. Источник энергии — быстрое, около 30 оборотов в секунду, вращение нейтронной звезды.

Крабовидная туманность является мощным источником синхротронного радиоиз-

лучения. Оптическое и рентгеновское излучение её внутренних областей также имеет синхротронную природу и связано с движением высокоэнергичных электронов в магнитном поле туманности. Крабовидная туманность оказалась первым обнаруженным объектом с нетепловым оптическим излучением и первым остатком сверхновой, где на месте взорвавшейся звезды была найдена нейтронная звезда (пульсар).

КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ — увеличение длин волн линий в спектре источника излучения по сравнению с линиями эталонных спектров. Проявляется как сдвиг спектральных линий к красному концу спектра. Возникает, когда расстояние между источником излучения и его приёмником (наблюдателем) увеличивается (эффект Доплера) или когда источник находится в сильном гравитационном поле (гравитационное красное смещение). В астрономии наибольшее красное смещение наблюдается в спектрах далёких внегалактических объектов (галактик и квазаров) и рассматривается как следствие космологического расширения Вселенной.

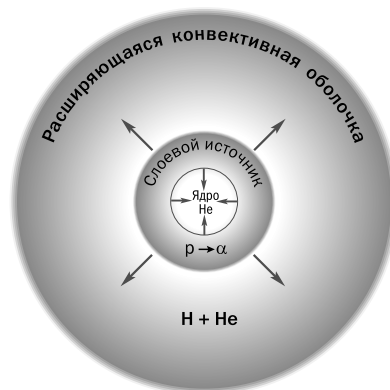
Численно красное смещение обычно характеризуют величиной $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$, где λ — длина волны спектральной линии в излучении, приходящем от космического источника; а λ_0 — длина волны той же линии, измеренная в спектре неподвижного лабораторного источника. При небольших скоростях движения эффект Доплера вызывает крас-



Эффект Доплера смещает спектр в целом и все его детали, т. е. линии. Вертикальной линией показана длина волны, фиксированная в лабораторной системе отсчёта ($\lambda_{\text{фикс}}$).

ное смещение (или голубое, если источник приближается к наблюдателю), пропорциональное лучевой скорости (v): $z = v/c$, где c — скорость света. При $v \sim c$ эта зависимость становится сложнее: $v = c(z^2 + 2z)/(z^2 + 2z + 2)$. Если излучение испущено с поверхности компактного массивного объекта, то его гравитационное красное смещение составляет $z = GM/(Rc^2)$, где M и R — масса и радиус тела, G — постоянная тяготения.

КРАСНЫЙ ГИГАНТ — звезда очень большого размера (в десятки и сотни раз больше Солнца), имеющая относительно низкую температуру поверхности (около 3000 К). Относительно короткая эволюционная фаза красного гиганта следует за длительной фазой звезды главной последовательности. Когда в ядре звезды оказывается израсходовано ядерное топливо (водород), ядро сжимается и уплотняется, а термоядерные реакции продолжают идти на его поверхности, причём из-за возросшей температуры и плотности в области протекания реакций они становятся всё более интенсивными. Возросший поток энергии не в состоянии «просочиться» к поверхности сквозь плотное вещество звезды, поэтому её оболочка, поглощая идущую от ядра энергию, расширяется и постепенно становится более прозрачной (как надуваемый воздушный шарик). Это продолжается, пока темп выделения энергии в ядре звезды не сравняется с темпом её потери с поверхности. Так из звезды главной последовательности образуется красный гигант. Его светимость в



Строение красного гиганта

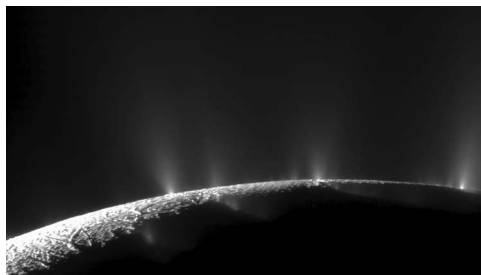
тысячи раз выше, чем у предшествовавшей ему звезды главной последовательности.

КРАТНАЯ ЗВЕЗДА — группа из нескольких (более двух) близких друг к другу (в проекции на небо) звёзд. Изредка кратные звёзды именуют также «множественными звёздами». Видимая близость звёзд на небе может быть вызвана как эффектом проекции звёзд, далёких в пространстве друг от друга, так и их реальной близостью, вызванной случайной встречей (что маловероятно), генетической связью (общностью происхождения) или физической связью, объединяющей их в кратную звёздную систему.

КРАТНАЯ ЗВЁЗДНАЯ СИСТЕМА — группа из нескольких (от трёх до, обычно, 7–8) звёзд, гравитационно связанных в единую систему. Примером служит шестикратная звёздная система, две ярчайших звезды которой — Алькор и Мицар — видны невооружённым глазом в созвездии Большой Медведицы как двойная звезда. При этом Алькор является компактной двойной звездой, а Мицар состоит из двух компактных звёздных пар. Звёздные системы с числом членов более нескольких десятков именуют звёздными скоплениями.

КРИВАЯ БЛЕСКА — история изменения яркости источника излучения со временем, т. е. график, показывающий изменение блеска объекта (обычно — в звёздных величинах) в зависимости от времени.

КРИОВУЛКАНИЗМ — вулканические процессы на некоторых планетах и их спутниках, происходящие в условиях крайне низкой температуры окружающей среды. Вместо расплавленных скальных пород криовулканы извергают воду, аммиак, соединения метана — как в жидком, так и в газообразном состоянии. Впервые криовулканы были обнаружены автоматическим зондом «Вояджер-2» (NASA) на спутнике Нептуна Тритоне в августе 1989 г. В районе южной полярной шапки спутника имеются небольшие тёмные пятна — это газовые струи, вылетающие из жерл криовулканов. На высоте 8 км струи изгибаются под прямым углом и далее тянутся в виде широких горизонтальных шлейфов на 150 км и более. На снимках Тритона насчитывается до 50 таких пятен. Криовулканизм на Тритоне предполо-



Криовулканизм на спутнике Сатурна Энцеладе. Фото зонда «Кассини» (NASA)

жительно порождён энергией приливного взаимодействия спутника с планетой.

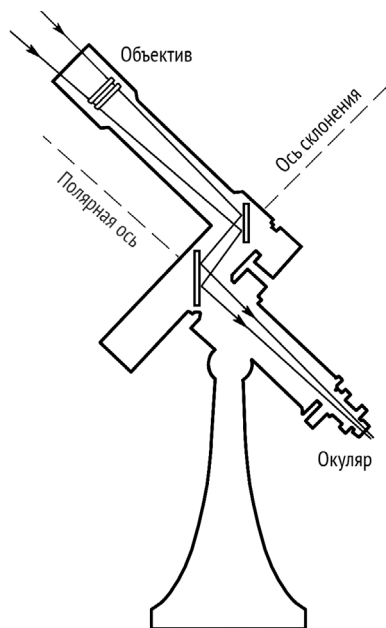
Криовулканизм обнаружен также на спутнике Сатурна Энцеладе: из разломов льда в районе южного полюса извергаются струи воды. Дистанционные наблюдения (космический телескоп «Хаббл») свидетельствуют о наличии криовулканизма на Европе, спутнике Юпитера.

КРИТИЧЕСКАЯ СВЕТИМОСТЬ — мощность электромагнитного излучения, выделяемая массивным телом (звездой, квазаром), при которой давление излучения, действующее на расположенный рядом с ним элемент плазмы, уравновешивается силой притяжения этого тела. Для тела с массой Солнца критическая светимость составляет около 10^{31} Вт. См. *Эддингтоновский предел светимости*.

КРОВОТАЯ НОРА, или **червоточина** (англ. *wormhole*) — гипотетический пространственно-временной туннель, связывающий коротким путём отдалённые области Вселенной.

КРЫМСКАЯ АСТРОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ расположена в пос. Научный, Бахчисарайский р-н, Крым (высота 550 м над уровнем моря). Основана в 1945 г. Крупнейший инструмент — телескоп-рефлектор им. Г. А. Шайна диаметром 2,6 м.

КУДЕ, оптическая система — конструкция телескопа-рефлектора, в которой с помощью нескольких дополнительных зеркал собранный свет выводится через центральное отверстие полярной оси, так что изображение остаётся на месте, хотя телескоп поворачивается вслед за звёздами. Конструкцию телескопа-куде (от фр. *coude* — изгиб) предложил в 1871 г. французский



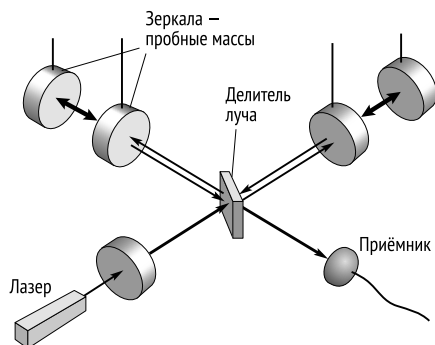
Телескоп-рефрактор фирмы «Карл Цейсс», сделанный по схеме куде. При поворотах объектива расположенный в основании полярной оси окуляр остаётся неподвижным.

астроном Бенджамин Леви (1833–1907). Достоинство этой системы в том, что в неподвижном фокусе-куде можно устанавливать стационарные приборы, например массивные спектрографы. Неподвижная окулярная часть телескопа удобна также для публичных демонстраций неба в народных обсерваториях. Недостатки системы: 1) вращение изображения вокруг оптической оси, которое при фотографировании объектов с длительной экспозицией требует вращающейся кассеты; 2) отражение света от двух дополнительных зеркал ведет к некоторой потере света. См. также *Фокус куде*.

КУЛЬМИНАЦИЯ — прохождение светила через небесный меридиан. Пересекая меридиан в верхней кульминации, звезда (или планета) имеет максимальную высоту, а в нижней кульминации — минимальную.

Л

ЛАЗЕРНАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, LIGO) — система наземных



Гравитационно-волновая антенна со свободно подвешенными пробными массами. Это оптический интерферометр Майкельсона, в котором зеркала свободно перемещаются под действием гравитационной волны.

детекторов гравитационных волн космического происхождения. Проект предложили в 1992 г. Кип Торн, Рональд Драйвер из Калифорнийского технологического института и Райнер Вайс из Массачусетского технологического института. Работа финансируется Национальным научным фондом США в объёме 365 млн долларов США (в ценах 2002 г.). Проект имеет широкую международную кооперацию: около 40 научно-исследовательских институтов и 600 отдельных учёных работают над анализом данных, поступающих с LIGO и других подобных обсерваторий. В составе коллектива работают и российские учёные: группа член-корр. РАН В. Б. Брагинского (Физический факультет МГУ, Москва) и группа акад. РАН А. М. Сергеева (Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород).

LIGO состоит из двух обсерваторий, удалённых друг от друга на 3000 км: в Ливингстоне (штат Луизиана) и в Хэнфорде. Это расстояние позволяет исключить местные сейсмические явления, а разница в моменте регистрации сигнала позволит определить направление на источник. Основной элемент каждой обсерватории — Г-образная система, состоящая из двух четырёхкилометровых плеч (труб) с высоким вакуумом внутри. Каждая обсерватория представляет собой интерферометр Майкельсона, в каждом из плеч которого благодаря свободно подвешенным зеркалам образуются резонаторы Фабри — Перо. Приходящий гравитационно-волновой импульс приводит к ко-

лебанию зеркал, что регистрируется интерферометром. Наблюдения начались в 2002 г. Первая надёжная регистрация гравитационной волны состоялась 15 сентября 2015 г.

ЛАЗЕРНАЯ ЛОКАЦИЯ ЛУНЫ — определение расстояния от Земли до Луны путём измерения времени распространения светового импульса, посланного с поверхности Земли к Луне, отразившегося от поверхности Луны и вернувшегося к Земле. Источником светового импульса служит лазер, приёмником — телескоп, а отражается свет от специально установленных на Луне уголкового отражателя (ретрорефлекторов).

В 1969–1973 гг. пилотируемые экспедиции «Аполлон-11, -14 и -15», а также автоматические аппараты «Луна-17» («Луноход-1») и «Луна-21» («Луноход-2») доставили на Луну ретрорефлекторы. Это матрицы из десятков уголкового отражателя — одинаковых призм с тремя взаимно перпендикулярными гранями, которые отражают падающий на них луч назад в направлении источника. Лазер через телескоп излучает импульс, направленный на отражатель, при этом точно фиксируется время, когда импульс был излучён. Для этого часть фотонов исходного импульса посылается на детектор телескопа с целью зафиксировать момент послышки импульса. Площадь пятна лазерного луча на поверхности Луны составляет 30 км², площадь ретрорефлектора — порядка 0,3 м². Отражённый от прибора на Луне свет через 2,5 секунды возвращается в телескоп, проходит через систему фильтрации для получения фотонов нужной длины волны (отсева шумов) и регистрируется в ожидаемом временном окне.

Точность измерения расстояния до Луны в начале 1970-х гг. составляла около 30 см, в 1980 г. — 15 см, в 1990 г. — 4 см, в 2000 г. — 1,5 см. В 2011 г. новая станция в обсерватории Апахе-Пойнт (шт. Нью-Мексико) достигла точности измерения расстояний до отражателей 2–3 мм, а точность определения размера орбиты Луны составила 15 мм. Из-за приливного взаимодействия с Землёй радиус лунной орбиты постепенно возрастает. За период лазерных измерений средняя скорость увеличения большой полуоси лунной орбиты составила 38 мм/год, а длительность

земных суток под действием тех же приливов возросла на 23 микросекунды в год. По палеонтологическим данным (дающим число солнечных суток в году), за последние 620 млн лет средняя скорость удаления Луны составила 22 мм/год, а длительность суток возросла в среднем на 12 мкс/год.

С помощью лазерной локации Луны подтверждаются теория лунной орбиты, теория приливов, теория гравитации (общая теория относительности Эйнштейна) и принцип эквивалентности. Некоторые данные бывают полезны для геофизики и физики лунных недр. Появляется возможность использовать систему Земля–Луна в качестве гравитационно-волнового детектора.

ЛАЦЕРТИДЫ — немногочисленная группа галактик с активными ядрами, в спектре которых не видно деталей, т. е. практически нет спектральных линий. Прототипом этой группы активных ядер стал объект BL Щита (BL Lacertae, BL Lac), вначале считавшийся переменной звездой в созвездии Щит. В 1929 г. её открыл немецкий астроном Кунно Хофмейстер (Cuno Hoffmeister), и довольно долго этот объект изучали как переменную звезду. Лацеридами оказались и некоторые другие «переменные звёзды», например RW Tau, X Com, AP Lib. Первоначально предполагалось, что лацери́ды могут быть необычными звёздами, принадлежащими нашей Галактике, однако сейчас их относят к внегалактическим объектам.

Из-за отсутствия в их спектрах ярких эмиссионных линий до них трудно определять расстояние (невозможно применить закон Хаббла) и даже трудно выявлять их внегалактическую природу. Первое указание на это появилось в 1968 г., когда Дж. Шмитт (John Schmitt) на канадской обсерватории Данлоп (David Dunlap Observatory) отождествил «звезду» BL Lac с ярким переменным радиоисточником. На глубоких снимках вокруг неё он заметил тусклое изображение родительской галактики. Окончательно эта загадка была решена после того, как удалось получить спектр слабой туманной оболочки вокруг яркого ядра. Оказалось, что спектр содержит линии поглощения, типичные для звёзд в окрестностях Солнца, и тем самым соответствует спек-

трам обычных эллиптических галактик. А в 1974 г. американские астрономы Джон Оке (J. B. Oke) и Джеймс Ганн (J. B. Gunn) измерили красное смещение объекта BL Lac, значение которого ($z=0,07$) без сомнения указало на его внегалактическую природу. Этому красному смещению соответствует скорость удаления 21 000 км/с, что по закону Хаббла указывает на расстояние 290 Мпк.

Лацертиды, особенно на фотографиях, полученных с помощью короткофокусных телескопов, имеют звёздообразный вид. Их основной признак — переменность блеска, достигающая в оптическом диапазоне 4^m-5^m . На фотографиях, полученных с помощью самых крупных телескопов, вокруг лацертид, как правило, видны туманные оболочки, и в этом отношении лацертиды похожи на квазары.

Красное смещение, измеренное по линиям поглощения, показало, что лацертиды действительно являются ядрами далёких галактик, хотя и не столь далёких, как квазары. Для лацертид характерен чисто непрерывный спектр без эмиссионных линий. Степенной характер спектра и сильная поляризация радио- и оптического излучения, достигающая 30–40%, позволяют предположить, что это — синхротронное излучение. В ядрах лацертид, в отличие, например, от сейфертовских галактик, отсутствует газовая оболочка, дающая эмиссионные линии. Отсутствие таких линий может быть связано как с реальным дефицитом газа, так и со спецификой условий возбуждения (газ есть, но он невидим). Отсутствие газа и синхротронный характер спектра указывают, по-видимому, на то, что излучение лацертид — это излучение, идущее из самых внутренних частей центрального источника.

Лацертиды принадлежат к категории активных ядер галактик, которые называют блазарами и которые на самом деле являются квазарами, наблюдаемыми нами почти точно вдоль оси их мощного джета. Лацертиды характеризуются быстрой и легко заметной переменностью потока в радио-, инфракрасном и видимом диапазонах спектра. Амплитуда переменности часто достигает нескольких звёздных величин за время всего в несколько суток или недель. Это ха-

рактерное время переменности излучения позволяет оценить размер излучающей области лацертид: её поперечник $\sim 10^{14}$ м.

Генезис объектов типа BL Lac можно, вероятно, рассматривать в рамках общей концепции происхождения активных ядер галактик. Наиболее распространённой в настоящее время является модель чёрной дыры в центре массивной галактики. Эта модель объясняет целый ряд наблюдаемых особенностей лацертид. Согласно этой модели, источник энергии ядра — аккреция газа на чёрную дыру. Газ поступает от звёзд, разрушаемых приливным воздействием центрального тела. По мере роста массы чёрной дыры растёт её гравитационный радиус. При значении массы около $5 \cdot 10^8 M_\odot$ гравитационный радиус становится равным приливному радиусу для звёзд типа Солнца (расстоянию, на котором они разрушаются приливными силами). В дальнейшем звёзды поглощаются чёрной дырой, предварительно не разрушаясь. Таким образом, на поздних стадиях эволюции газовая оболочка вокруг ядра отсутствует и в излучении доминирует непрерывный спектр, создаваемый в непосредственной окрестности центрального источника. С этой точки зрения лацертиды — это далеко проэволюционировавшие массивные ядра гигантских массивных эллиптических галактик.

ЛЕБЕДЬ — северное созвездие; чрезвычайно выразительная фигура в виде креста из ярких звёзд, действительно похожая на силуэт лебедя с распростёртыми крыльями и длинной вытянутой шеей. Эта «птица» летит на юг вдоль Млечного Пути. На вершине «креста», в хвосте фигуры лебедя, находится яркая звезда Денеб (α Cyg). Вместе с Вегой (в Лире) и Альтаиром (в Орле) она образует известный астеризм — Летний Треугольник. Вавилоняне называли Лебедя «лесной птицей», арабы — «курицей», а греки считали лебедем, летящим вдоль Млечного Пути. Согласно мифу, это Зевс в образе лебедя преследует Леду. По-арабски «денеб» означает «хвост курицы»; эта бело-голубая звезда — один из ярчайших сверхгигантов со светимостью в 270 000 раз выше солнечной. В «голове птицы» располагается звезда β Cyg по имени Альбире — великолепная визуаль-

ная двойная, удобная для наблюдения с маленьким телескопом; один её компонент золотисто-жёлтый, как топаз, а его компаньон голубой, как сапфир. Другая интересная звезда — 61 Лебеда, очень похожая на Солнце и 14-я среди ближайших к нам звёзд. Но она оказалась первой, до которой астрономы смогли измерить расстояние (11,4 св. года). Сделал это Ф. Бессель в 1838 г.

Вблизи Денеба на фоне Млечного Пути выделяется тёмная область — Северный Угольный Мешок, одно из близких межзвёздных облаков из газа и пыли.

ЛЕВ — древнее зодиакальное созвездие, расположенное между Раком и Девой. Это созвездие было известно шумерам ещё 5000 лет назад. Мифы связывают его с Немецким чудищем, которого убил Геракл. Расположение ярких звёзд действительно напоминает лежащего льва, голова и грудь которого представляют известный астеризм Серп, похожий на зеркальное изображение вопросительного знака. «Точкой» внизу этого знака служит яркая бело-голубая звезда Регул (α Leo).

В основании «головы льва» расположена золотисто-жёлтая Альгиеба («грива льва»; γ Leo); это тесная визуальная двойная $2,0^m$. В задней части фигуры находится звезда Денебола (β Leo), в переводе с арабского — «хвост льва».

ЛЕОНИДЫ — метеорный поток, обычно слабый, но дававший в некоторые годы чрезвычайно мощные метеорные дожди. Поток активен в период с 9 по 22 ноября каждого года. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Лев. Геоцентрическая скорость частиц потока 72 км/с (максимально возможная для метеорных потоков, наблюдаемых на Земле), поэтому метеоры очень яркие и быстрые. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности имеет ярко выраженную переменность с периодом 33 года. Мощные метеорные дожди наблюдались, например, в 1799, 1832/33, 1866/67, 1901, 1934, 1966 и 1999 гг. Зенитное часовое число в 1966 г. превысило 100 тысяч метеоров. Родоначальницей потока считается периодическая комета 55P/Темпеля — Тутля, имеющая орбитальный период 33 года.

ЛЕПТОНЫ (от греч. *λεπτος* — лёгкий) — общее название класса элементарных частиц, не обладающих сильным взаимодействием, т. е. участвующих лишь в электромагнитном, слабом и гравитационном взаимодействиях. Лептоны имеют спин $1/2$. Различают заряженные лептоны — электрон, мюон (μ), тау-лептон (τ), а также нейтральные лептоны — нейтрино. Заряженные лептоны участвуют как в слабом, так и в электромагнитном взаимодействиях элементарных частиц, нейтральные лептоны — в слабом взаимодействии. Заряженные лептоны обладают магнитным моментом, равным, с точностью до высших поправок по электромагнитному взаимодействию, $e\hbar/2mc$. С той же точностью магнитный момент нейтральных лептонов равен нулю. Нейтральные лептоны обладают малой, пока не установленной, массой покоя. Массы заряженных лептонов сильно различаются: масса электрона $m_e = 0,511$ МэВ, мюона $m_\mu = 106$ МэВ, тау-лептона $m_\tau = 1777$ МэВ. Для каждого типа заряженных лептонов — e^- , μ^- , τ^- и для соответствующих им нейтрино существует своё сохраняющееся лептонное число.

Название «лептон» было предложено Л. Розенфельдом с подачи К. Мёллера в 1948 г. и отражало тот факт, что все известные тогда лептоны были значительно легче тяжёлых частиц, входящих в класс барионов (греч. *βαρυς* — тяжёлый). Сейчас этимология термина уже не вполне согласуется с действительным положением дел, так как открытый в 1977 г. τ -лептон примерно вдвое тяжелее самых лёгких барионов (протона и нейтрона).

Каждый тип лептонов и связанных с ними нейтрино называют «поколением». Существует три поколения лептонов: первое поколение — электрон и электронное нейтрино; второе — мюон и мюонное нейтрино; третье — τ -лептон и τ -нейтрино. Ранее считалось, что каждое из них обладает своим (так называемым флейворным — от англ. *flavor*) лептонным зарядом; иными словами, лептон может возникнуть только вместе с антилептоном из своего поколения, так, чтобы разность количества лептонов и антилептонов каждого поколения в замкнутой системе была постоянной. Эта разность

называется электронным, мюонным или тау-лептонным числом в зависимости от рассматриваемого поколения. Лептонное число лептона равно +1, антилептона — -1.

С открытием осцилляций нейтрино обнаружено, что это правило нарушается: электронное нейтрино может превратиться в мюонное или тау-нейтрино и т. д.

Электрон и позитрон стабильны. Мюон в вакууме имеет время жизни $2,197 \cdot 10^{-6}$ с относительно распада $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$ или $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$. Тау-лептон является единственным лептоном, который может распадаться на адроны, так как остальные лептоны слишком легки для этого. Основные каналы распада тау-лептона: $\tau^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau$ (17,4%) или $\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$ (17,8%), плюс адроны (> 50%). При этом время жизни τ -лептона $2,9 \cdot 10^{-13}$ с.

ЛЕТУЧАЯ РЫБА — южное созвездие; лежит между Килем и Столовой Горой, занимая небогатую звёздами область между Млечным Путём и Большим Магеллановым Облаком. Вероятно, название для этой небольшой группы из звёзд 4^м предложил голландский учёный Петер Планциус (1552–1622), основываясь на наблюдениях южного неба, сделанных голландскими мореплавателями Фредериком де Хоутманом и Питером Кейзером в 1596 г. В астрономическую практику это созвездие ввёл Иоганн Байер в 1603 г., изобразив его в своем звёздном атласе «Уранометрия» под названием Piscis Volans (Рыба Летучая). По-видимому, летучие рыбы сильно поразили европейских моряков, но художники тех лет плохо представляли себе это существо: в атласе «Уранометрия» на месте этого созвездия изображён упитанный сазан с оперёнными совиными крыльями.

ЛИБРАЦИЯ — видимые покачивания синхронно вращающегося спутника при его наблюдении с планеты. Наиболее известны и изучены либрации Луны. Вследствие равномерного вращения Луны вокруг оси и неравномерного движения по эллиптической орбите наблюдается её *либрация по долготе* с периодом в один аномалистический месяц и величиной $\pm 7^\circ 54'$. Вследствие наклона оси вращения к плоскости орбиты наблюдается либрация по широте $\pm 6^\circ 50'$ с периодом в драконический месяц. *Суточная*, или *па-*

раллактическая, либрация возникает из-за близости Луны к Земле. Наблюдатели в противоположных точках земного экватора одновременно видят несколько различные области лунной поверхности. Амплитуда этих либраций достигает $\pm 57'$.

Кроме описанных «оптических» либраций, существуют также «физические» (на угол около $2'$), обусловленные небольшими периодическими изменениями скорости суточного вращения Луны из-за действия приливных сил Земли на вытянутую фигуру спутника. В итоге наличие либрации Луны по широте и долготе позволяет наблюдать с Земли 59% всей лунной поверхности.

ЛИКСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ (Lick observatory) — оптическая астрономическая обсерватория, работающая под управлением Калифорнийского университета в Санта-Круз (США). Расположена на горе Маунт Гамильтон (Калифорния) на высоте 1290 м. Функционирует с 1880-х гг. Построена на деньги, завещанные американским предпринимателем и покровителем науки Джеймсом Ликом (1796–1876). На обсерватории установлены исторический 36-дюймовый (91 см) рефрактор «Джеймс Лик», 120-дюймовый (3 м) рефлектор «Шейн» (назван в честь американского астронома, директора Ликской обсерватории Дональда Шейна, 1895–1983). Там функционируют также 2,4-метровый рефлектор для автоматического поиска планет, 1-метровый рефлектор «Анна Никель», а также исторический 0,9-метровый Кросслеевский рефлектор. Один из самых интересных инструментов — 0,76-метровый рефлектор KAIT (Katzman Automatic Imaging Telescope). Это полностью автоматизированный телескоп, предназначенный для поиска сверхновых, новых и других неожиданных появляющихся объектов. Он получает на ПЗС-приёмнике до 100 изображений в час и за ночь исследует около 1000 галактик. С 1998 г. он ежегодно открывает от 40 до 100 сверхновых, несколько новых и комет.

ЛИКСКИЙ РЕФРАКТОР — телескоп-рефрактор, имеющий объектив диаметром 36 дюймов (91 см). Сейчас это третий в мире рефрактор по размеру объектива после 40-дюймового (1,02 м) Йеркского рефрактора и 1-метрового Шведского солнеч-

ного телескопа. Строительство «Великого Ликского рефрактора» было завершено в 1888 г. Он был назван именем Джеймса Лика (1796–1876), пожертвовавшего средства на его создание. Телескоп установлен в Ликской обсерватории (Калифорния). Объектив двухлинзовый ахроматический работы Алвана Кларка. Одна его флинтсовая линза весит 170 кг. Труба телескопа при длине 17,4 м и диаметре 1,22 м весит около 12 т. Башня телескопа имеет подъёмный пол диаметром 18 м, способный перемещаться на 5 м, что создаёт удобства для наблюдателя у окуляра при изменении высоты объекта.

ЛИМБ (лат. *limbus* кайма) — 1) плоское кольцо с нанесёнными на его поверхности штрихами, делящими окружность на равные части — градусы, минуты и т. п. Служит для отсчёта углов в угломерных инструментах; 2) видимый край диска Солнца, Луны или планеты.

ЛИНИИ БАЛЬМЕРА — спектральные линии атома водорода в оптической области спектра. Возникают при переходах с первого возбуждённого энергетического уровня атома водорода на высшие уровни (линии поглощения) и обратно (линии излучения). Линии Бальмера обозначаются буквой Н с добавлением греческих букв в алфавитном порядке, начиная с длинноволновой части: Н α (длина волны 656,3 нм), Н β (486,1 нм), Н γ (434,0 нм) и т. д. Интервал между последующими линиями уменьшается с уменьшением длины волны, при этом интенсивность линий также убывает вплоть до границы серии Бальмера на 364,6 нм. Серии водородных линий есть также в УФ-области спектра (переходы из основного состояния атома на возбуждённые уровни и обратно — серия Лаймана) и в инфракрасной области (серия Пашена — переходы на второй возбуждённый уровень, серия Брэкета — переходы на третий возбуждённый уровень, и т. д.).

ЛИНИИ Н И К — спектральные линии однократно ионизованного кальция, Са II. Длина волны линии Н равна 396,85 нм, а линии К — 393,37 нм. Эти линии поглощения наиболее заметны в спектре Солнца и подобных ему звёзд. Они служат хорошим индикатором магнитной активности хромосферы.

ЛИНИИ ФРАУНГЕРА — наиболее заметные линии (а также комплексы линий — полосы) поглощения в визуальной области солнечного спектра, обнаруженные и обозначенные в 1814 г. Йозефом фон Фраунгофером (1787–1826).

Перечень линий в солнечном спектре с обозначениями Фраунгофера

Обозначение	Длина волны, нм	Источник линии
A	759,4	Молекулярный кислород (земной)
B	686,7	Молекулярный кислород (земной)
C	656,3	Водород (Н α)
D ₁	589,6	Натрий
D ₂	589,0	Натрий
E ₂	527,0	Железо
b _{1,2,4}	518,3–516,7	Триплет магния
F	486,1	Водород (Н β)
G'	434,0	Водород (Н γ)*
G	430,8	Железо и молекула СН
H	396,8	Кальций
K	393,2	Кальций
L	382,0	Железо*
M	373,5	Железо*
N	358,1	Железо*

* — добавлены уже после Фраунгофера.

ЛИНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ, или **ЭМИССИОННАЯ ЛИНИЯ**, — ярко выраженный избыток потока энергии («пик») в узком диапазоне спектра. Устаревшее название — линия испускания.

ЛИНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ — тёмная линия, наблюдаемая в непрерывном спектре излучающего объекта. Фактически это ярко выраженный недостаток потока энергии («депрессия») в узком диапазоне спектра. Линии поглощения возникают из-за поглощения фотонов с определённой длиной волны ионами, атомами или молекулами.

ЛИНИЯ УЗЛОВ — прямая, соединяющая узлы орбиты небесного тела; по этой прямой пересекаются плоскости орбиты и эклиптики (или экватора, если имеется в виду ИСЗ).

ЛИРА — маленькое, но красивое северное созвездие между Геркулесом и Лебедём. В древнем Вавилоне его называли «бородач-ягнятник» (крупный ястреб) или «атакующая антилопа». Арабы называли его «пада-

ющий орел». Античная традиция связывает это созвездие с мифами об Орфее, лиру для которого изготовил Гермес из панциря черепахи. В рисунке созвездия иногда объединяется несколько мифов; так, в «Уранометрии» Байера лира изображена на груди орла. Главная звезда Лиры — Вега (α Lyr), ярчайшая из звёзд северной небесной полушария ($0,03^m$) и пятая по яркости на всём небе. Её имя происходит от арабского «ал-Ваки» — «падающий орёл». Вместе с двумя менее яркими звёздами образует маленький равносторонний треугольник, лежащий в северо-западном углу небольшого параллелограмма, изображающего лиру. Вместе с яркими звёздами Денеб (в Лебеде) и Альтаир (в Орле) Вега образует известный астеризм — Летний Треугольник. Вега удалена от нас на 25 св. лет, имеет светимость в 50 раз выше солнечной и через 12 тыс. лет станет полярной звездой. Рядом с ней находится ϵ Лиры — система $4,5^m$ из двух тесных двойных звёзд, разделённых углом в $3'$. Недавно был выявлен и пятый компаньон, обращающийся вокруг этой системы. Между звёздами β и γ находится кольцевая планетарная туманность Кольцо (M57); её блеск 9^m .

ЛИРИДЫ — метеорный поток, ежегодно активный в период с 19 по 25 апреля. Максимальная активность — около 22 апреля. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Лира. Геоцентрическая скорость частиц потока 48 км/с. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности составляет около 10. Хотя обычно этот метеорный поток слаб, иногда наблюдаются красивые ливни. В 1803, 1922 и 1982 гг. этот поток демонстрировал метеорные дожди с часовым числом около 1800. Родоначальницей потока считается комета Тэтчера (1861 I). Исторические упоминания о метеорном потоке Лириды прослеживаются в прошлое на 2500 лет.

ЛИСИЧКА — экваториальное созвездие. Введено Я. Гевелием в 1690 г. под именем *Vulpecula cum Ansere*, маленькая лисичка с гусем (в зубах!). Находится к югу от созвездия Лебедь. Ярких звёзд не имеет, хотя лежит в Млечном Пути.

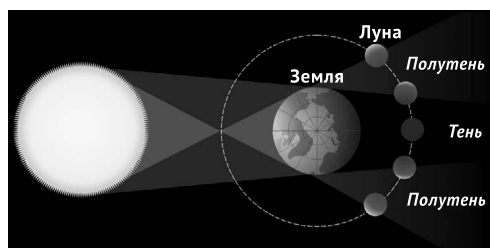
ЛУНА — естественный спутник Земли. Среднее расстояние между центрами Луны и

Земли $384\,400$ км. Луна не имеет атмосферы; её поверхность покрыта реголитом — раздробленным метеоритами материалом коренных пород. Масса Луны $7,353 \cdot 10^{22}$ кг (в 81,3 раза меньше, чем Земли). Средний радиус Луны 1737 км (в 3,67 раза меньше, чем Земли). Средняя плотность $3,34$ г/см³. Сила тяжести в 6 раз меньше земной. Средняя температура поверхности 107°C днём и -153°C ночью. Период обращения по орбите и период вращения вокруг оси совпадают и равны 27,32 сут, поэтому Луна всегда обращена к Земле одной стороной, которую называют видимой. Обратная сторона Луны никогда не видна с Земли.

Максимальный перепад высот на Луне наблюдается в пределах материковых областей и достигает 17 км (для сравнения: на Земле перепад высот твёрдой поверхности равен 20 км). Наивысшая точка (9 км) над средним уровнем поверхности находится на обратной стороне, в горах Лейбница. Самая глубокая депрессия глубиной 8 км — также на обратной стороне, в районе Южный полюс — Эйткен.

Советский космический аппарат «Луна-2» первым достиг поверхности Луны (14.9.1959), а «Луна-3» впервые сфотографировала (7.10.1959) и передала на Землю снимки обратной стороны Луны. Первую мягкую посадку на Луну осуществила «Луна-9» (3.2.1966). Первая пилотируемая экспедиция «Аполлон-11» (NASA, США) под командой Н. Армстронга достигла поверхности Луны 20 июля 1969 г.

ЛУННОЕ ЗАТМЕНИЕ — прохождение Луны через тень Земли, приводящее к значительному (но не полному) ослаблению яркости лунного диска. Лунные затмения наблюдаются в данном месте на Земле приблизительно раз в два-три года. В отличие от сол-



Этапы лунного затмения

нечных затмений, лунные затмения видны сразу на всём не освещённом Солнцем полушарии Земли, поэтому создаётся впечатление, что лунные затмения происходят гораздо чаще солнечных. Луна достаточно редко становится совершенно тёмной при полной фазе затмения, поскольку солнечный свет рассеивается внутрь тени атмосферой Земли. По этой причине Луна в момент затмения приобретает бордовый цвет.

ЛУЧЕВАЯ СКОРОСТЬ — проекция вектора скорости объекта на луч зрения наблюдателя; её считают положительной, если объект удаляется от наблюдателя, и отрицательной, если приближается. Например, измеряя смещение линий в спектрах небесных тел, определяют скорость их приближения или удаления (эффект Доплера), т. е. измеряют компонент скорости, направленный по лучу зрения. Термин «лучевая скорость», как правило, используют астрономы; физики обычно называют её радиальной скоростью.

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ — занятие астрономическими исследованиями как хобби. В отличие от широко распространённого «потребительского» интереса к науке — чтения научно-популярных книг и журналов, просмотра познавательных телепередач и кинофильмов, — любительское занятие наукой, в частности астрономией, предполагает целенаправленный поиск в определённой области исследований, дополняющий или дублирующий работу профессиональных учёных. Любительские научные исследования вообще характерны для поисковых областей знания, таких как археология, палеонтология, история, топонимика, энтомология. В области физико-математических наук в нашу эпоху граница научного поиска ушла так далеко от возможностей учёного-любителя, что сколько-нибудь плодотворное занятие физикой, химией или математикой в качестве хобби представляется практически невозможным. И только в астрономии усилия профессионалов и любителей объединяются вполне органично, поскольку астрономические исследования в значительной мере имеют (и всегда будут иметь) поисковый, наблюдательный характер. Многие астрономические явления уни-

кальны, поэтому грамотно поставленные любительские наблюдения, даже со скромными аппаратными средствами, представляют для науки реальную ценность.

Любители астрономии и астрономы-любители. Понятие «любительская астрономия» определено не вполне чётко. В самом общем смысле это занятие астрономическими исследованиями в качестве хобби, в свободное от основной работы или учёбы время. Но уровень этих занятий может иметь различную глубину: от простого любования ночным небом и созерцания доступных объектов до систематического поиска комет и астероидов, изучения переменных звёзд и солнечной активности, конструирования новых приборов и участия в работе профессиональных научных коллективов. В связи с этим тех, кто увлечён созерцанием неба и чтением астрономической литературы, нередко называют любителями астрономии, а тех, кто в качестве хобби занимается систематическими исследованиями небесных объектов, — астрономами-любителями. О количестве тех и других можно судить по тиражам научно-популярных журналов и книг, по составу некоторых научных обществ. К примеру, в США в 2002 г. было около 100 тыс. активных любителей астрономии, в странах Западной Европы — десятки тысяч, в России — несколько тысяч.

Основные направления исследований. Традиционно научные задачи астрономов-любителей требуют не очень сложного оборудования, но внимания, аккуратности и хорошего знания звёздного неба. Это поиск комет, изучение метеорных потоков, поиск метеоритов, наблюдение за серебристыми облаками, изучение переменных звёзд, систематическая зарисовка поверхности планет, выявление изменений на поверхности Луны. Чтобы стимулировать поиск уникальных объектов, таких как кометы, метеориты, вспышки новых и сверхновых звёзд, официально приняты меры поощрения, особенно ценные для астрономов-любителей. Например, новым кометам присваивают имена первооткрывателей; авторы открытия астероидов получают право предлагать для них имена. Опытных любителей астрономии в качестве поощрения некоторые обсервато-

рии приглашают на курсы лекций, дают им возможность работать на крупных инструментах и пользоваться профессиональным оборудованием и базами данных. Немало имён выдающихся любителей астрономии можно найти на карте Луны.

В конце XX в. ситуация с любительской астрономией существенно изменилась. С одной стороны, на некоторых обсерваториях начали работать автоматические телескопы для поиска комет и астероидов, составившие серьёзную конкуренцию любителям. С другой — появление персональных компьютеров, интернета и недорогих электронных приёмников света (ПЗС-камер) открыло перед любителями новые возможности: например, они получили возможность через интернет пользоваться профессиональными каталогами и базами данных крупнейших наземных и космических обсерваторий. При помощи готовых программ любители теперь могут вычислять эфемериды астрономических явлений именно для своего места наблюдения; это позволяет, в частности, наблюдать покрытия звёзд Луной и астероидами. Более того, теперь астрономы-любители могут делать серьёзные открытия независимо от погоды и наличия у них телескопа: некоторые энтузиасты обнаружили уже по несколько новых комет на фотографиях неба, полученных через интернет с борта обсерватории SOHO.

Для стимулирования любительской астрономии некоторые меценаты учреждают премии. Так, Смитсоновская обсерватория (США) награждает астрономов-любителей премией Эдгара Уилсона за открытия новых комет; размер премии — несколько тысяч долларов США. Лучшие «ловцы астероидов» получают Шумейкеровские гранты Планетного общества США (от \$900 до \$10 000), которые им предстоит потратить на поиски и изучение околоземных астероидов и комет.

Выдающиеся астрономы-любители. В XVII–XVIII вв. немногочисленный штат государственных обсерваторий в основном был занят прикладными исследованиями, направленными на совершенствование службы времени и методов определения географической долготы. Поэтому поиском комет и астероидов, изучением пе-

ременных звёзд и явлений на поверхности Солнца, Луны и планет в основном занимались астрономы-любители. В XIX в. профессиональные астрономы стали уделять больше внимания звёздно-астрономическим и астрофизическим исследованиям, но и в этих областях любители науки нередко были в первых рядах.

На рубеже XVIII и XIX вв. работал величайший из астрономов-любителей — музыкант, дирижёр и композитор Вильям Гершель, верной помощницей и продолжателем дела которого была его сестра Каролина. С точки зрения любительской астрономии главная заслуга В. Гершеля состоит не в открытии планеты Уран или составлении каталогов тысяч туманностей и звёздных скоплений, а в демонстрации возможности кустарного изготовления крупных телескопов-рефлекторов. Именно это на несколько столетий определило основное направление любительского телескопостроения.

В XIX в. было налажено производство высококачественных рефракторов, что привлекло многих профессиональных и самодеятельных астрономов к наблюдению планет и поиску новых объектов Солнечной системы. Стало очень популярным составление карт лунной поверхности. Великолепных результатов в этом достигли банкир Вильгельм Бер (1797–1850) и астроном И. Мёдлер (1794–1874), работавшие совместно. Проведя микрометрические измерения сотен деталей в качестве реперных точек и измерив тени более тысячи гор для определения их высот, они составили в 1836–1837 гг. изумительную карту Луны с подробным описанием рельефа.

Немецкий фармацевт Генрих Швабе (1789–1875) с 1826 г. регулярно наблюдал поверхность Солнца и в 1843 г. открыл периодичность количества солнечных пятен. К тому же он первым детально исследовал Большое Красное пятно на Юпитере (1831 г.). За свой вклад в науку он был награжден Золотой медалью английского Королевского астрономического общества и в 1868 г. избран в члены Королевского общества — редкая привилегия для любителя науки.

Высочайший уровень любительской астрономии XIX в. продемонстрировал Уильям

Хёггинс (1824–1910), который в собственной обсерватории развил методы астрономической фотографии и спектроскопии; фактически он стал первым английским астрофизиком.

Американский врач, профессор естествознания Генри Дрэпер (1837–1882) построил частную обсерваторию с 71-см рефлектором, зеркало для которого шлифовал сам. На фотопластинках с мокрыми коллоидными эмульсиями одним из первых получил высококачественные фотографии Луны, Солнца и солнечного спектра (разработал для этой цели точный механизм часового ведения телескопа). В 1872 г. первым получил спектр звезды — Веги. С 1879 г. работал с сухими фотоэмульсиями и получил спектры ярких звёзд, планет, комет и туманностей. После ранней смерти исследователя его вдова Анна Палмер-Дрэпер учредила денежный фонд, позволивший астрономам Гарвардской обсерватории создать фундаментальный каталог спектров звёзд (знаменитый Дрэперовский каталог) и разработать Гарвардскую спектральную классификацию звёзд, ставшую основой астрофизики.

В XX в. возможности астрономов-любителей уже не могли конкурировать с оборудованием профессиональных обсерваторий, поэтому любители сосредоточились на поисковых работах, в основном связанных с кометами. Уникальный для XX в. пример авангардной роли любительской астрономии даёт работа Грота Рёбера, который в конце 1930-х гг. единственный во всём мире проводил радиоастрономические исследования, своими силами и на собственные средства создавая весьма совершенные радиотелескопы. В середине XX в., с развитием космонавтики, радиоастрономия совершила колоссальный рывок, и её уровень стал совершенно недоступен для любителей. Однако к концу XX в. любительская радиоастрономия возродилась на основе новых технологий; возникло даже Общество радиоастрономов-любителей.

В области оптического поиска и исследования новых объектов (комет, переменных звёзд и т. п.) астрономы-любители до сих пор успешно дополняют профессио-

налов, используя свои главные преимущества — широкоугольные оптические приборы (бинокляры, кометоискатели), прекрасное знание звёздного неба и настойчивость в проведении наблюдений. Такие известные «ловцы комет», как Икейя, Бредфилд, Оллок, проводят визуальные наблюдения практически каждую ночь в течение нескольких десятилетий. Так, англичанин Джордж Оллок (1912–2000), отслужив в армии и всю жизнь проработав школьным учителем младших классов, с юношеских лет проводил астрономические и метеорологические наблюдения, открыв за это время визуально, при помощи бинокляра, 5 комет и 6 вспышек новых звёзд. За научные заслуги он стал членом Британских Королевских Астрономического и Географического обществ, был удостоен множества наград, в том числе медалей Тихоокеанского астрономического общества и Американской ассоциации наблюдателей переменных звёзд; его имя присвоено малой планете. Как показал опыт Гершеля и Олкока, облачное небо Англии — вовсе не преграда для упорных наблюдателей.

Организации любителей астрономии.

В мире существует огромное количество кружков, клубов, обществ и союзов астрономов-любителей, объединяющих энтузиастов по территориальному признаку или по тематике исследований. Некоторые клубы владеют довольно мощными обсерваториями. По сравнению с индивидуальными любителями у членов астрономических объединений значительно больше возможностей при строительстве или покупке крупного телескопа и аппаратуры к нему, включая современные ПЗС-камеры. С опытом такой работы знакомит, например, Центр любительской астрофизики (Center for Backyard Astrophysics: cba.phys.columbia.edu).

Наиболее известные среди любительских организаций:

- Астрономическая лига (Astronomical League); объединяет более 240 любительских астрономических обществ и клубов США (www.astroleague.org);
- Американская ассоциация любителей астрономии (The American Association of Amateur Astronomers);

- Международная организация любителейских наблюдений Солнца (www.inter-sol.org);

- Общество радиоастрономов-любителей (The Society of Amateur Radio Astronomers);

- Московский астрономический клуб (astroclub.ru).

Наиболее плодотворными и авторитетными являются смешанные организации, объединяющие как любителей, так и профессионалов. К их числу относятся:

- Тихоокеанское астрономическое общество (Astronomical Society of the Pacific) — объединение любителей и профессиональных астрономов, базирующееся на Западе США (www.aspsky.org);

- Американская ассоциация наблюдателей переменных звёзд — The American Association of Variable Star Observers (www.aavso.org);

- Американское метеорное общество — American Meteor Society (www.amsmeteors.org);

- Ассоциация наблюдателей Луны и планет — The Association of Lunar and Planetary Observers;

- Международный центр наблюдений покрытий Луной — International Lunar Occultation Centre (lunar-occultations.com).

В СССР Всесоюзное астрономо-геодезическое общество (ВАГО) активно работало с 1932 по 1994 гг. в тесном контакте с Академией наук СССР, объединяя 8000 действительных членов, около 2000 членов юношеских секций и 225 членов-коллективов. После распада СССР ВАГО также распалось на ряд местных организаций и клубов.

В мире существует несколько центров для накопления данных о наблюдении переменных звёзд и для получения этих данных не только профессионалами, но и любителями астрономии:

- Американская ассоциация наблюдателей переменных звёзд (AAVSO). Адрес для отправки наблюдений: observations@aaavso.org.

- Японская сеть исследователей переменных звёзд (VSNET). Сайт: <http://ooruri.kusastro.kyoto-u.ac.jp/mailman/listinfo>.

Чрезвычайно полезные каталоги и базы данных для наблюдений можно найти на сайтах Центра астрономических данных в Страсбурге (cdsweb.u-strasbg.fr/Cats.html) и Центра астрономических данных NASA (adc.gsfc.nasa.gov/adc/adc_amateurs.html).

Замечательные новые возможности уже даёт и значительно умножит в ближайшее время идея виртуального телескопа. Сейчас так называют базу данных Европейской южной обсерватории (проект Astrovirtel), в которой собираются снимки, полученные на нескольких крупных телескопах при наблюдениях самых разных объектов. Astrovirtel доступен не только профессионалам, но и всем желающим, хотя для работы с ним требуется квалификация. И это лишь первый шаг к более грандиозному проекту Астрономической виртуальной обсерватории, которая объединит в цифровом виде все изображения неба, полученные за всю историю науки астрономами всех стран.

Инструменты и пособия для любителей астрономии. Для первого знакомства со звёздным небом лучше всего подходит бинокль, но для опытных астрономов-любителей главным инструментом служит телескоп. Возможности телескопа возрастают вместе с диаметром его объектива, но при этом растёт и цена. Поэтому многие любители предпочитают строить телескопы самостоятельно, изготавливая все части или заказывая наиболее важные из них (объектив, окуляры) у оптических фирм. Телескопы астрономов-любителей часто имеют весьма оригинальную конструкцию и стимулируют профессионалов к разработке аналогичных инструментов.

Для планирования наблюдений и обработки полученных изображений любители астрономии создали множество полезных компьютерных программ, которыми они обмениваются безвозмездно. Некоторые фирмы специально для любителей астрономии выпускают коммерческие программы: виртуальные планетарии, анимированные лекции, галереи изображений и каталоги небесных объектов. Наиболее мощные программы, такие как RedShift и Starry Night, обладают колоссальными возможностями демонстрации звёздного неба, туманностей и

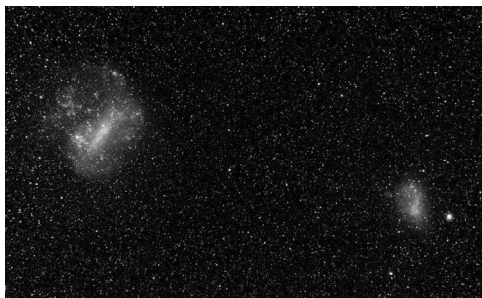
галактик, астероидов и комет, планет и их спутников (включая детали их поверхности), солнечных и лунных затмений, сумеречных явлений и т. д. При этом наблюдатель может располагаться в произвольной точке Земли или космического пространства и выбирать практически произвольный момент времени наблюдения.

В большинстве развитых стран публикуются научно-популярные журналы и серии книг специально для любителей астрономии. Всемирно известны журналы «Sky & Telescope», «Astronomy», «Astronomy Now», «The Astronomer» и др. В России с 1965 г. издается журнал Академии наук «Земля и Вселенная», а с 1995 по 2004 г. издавался журнал для любителей астрономии «Звездочёт». С 2003 г. начал выходить аналогичный журнал «Вселенная, пространство, время».

ЛЮКИ КИРКВУДА — узкие области в пределах пояса астероидов, где обнаруживается значительно меньше малых планет, чем в соседних с ними областях. Впервые существование этих «провалов» в распределении средних расстояний астероидов от Солнца подметил в 1857 г. американский астроном Дэниел Кирквуд (1814–1895), определив, что орбитальное движение частиц в «люках» происходит в резонансе с движением Юпитера. Особенно заметны люки Кирквуда, в которых отношение орбитального периода к периоду Юпитера составляет 1:2, 1:3, 2:5, 3:7. В то же время в области резонанса 2:3 наблюдается избыток астероидов (группа Гильды), а в резонансе 1:1 с Юпитером (т. е. по его орбите) движутся две многочисленные группы астероидов (см. *Греки и троянцы*). Природа люков Кирквуда до сих пор не вполне ясна.

М

МАГЕЛЛАНОВЫ ОБЛАКА — две сравнительно небольшие галактики, одни из ближайших спутников нашей Галактики. Магеллановы Облака расположены относительно близко друг к другу и, по-видимому, составляют (или в недалёком прошлом составляли) гравитационно связанную двойную систему. На небе Южного полушария Магеллановы Облака хорошо видны нево-



Большое (слева) и Малое Магеллановы Облака.
Фото: ESO.

оружённым глазом и выглядят как изолированные участки Млечного Пути. Впервые их описал Антонио Пигафетта, участвовавший в кругосветном плавании Магеллана 1519–1522 гг. (хотя их присутствие на небе отмечалось и раньше). Более крупное и яркое — Большое Магелланово Облако (БМО), второе — Малое Магелланово Облако (ММО). По морфологической классификации оба они являются неправильными галактиками.

На небе БМО располагается в созвездиях Золотая Рыба (Dorado) и Столовая Гора (Mensa); их граница пересекает галактику почти точно посередине. ММО лежит в созвездии Тукан (Tucana). Относительно малое расстояние до Магеллановых Облаков дало возможность изучить эти галактики весьма детально. С помощью крупнейших телескопов там можно разрешить звёзды со светимостью, близкой к солнечной. С другой стороны, вследствие значительного превышения расстояния до Магеллановых Облаков над их поперечником различие видимых звёздных величин входящих в них объектов равно различию их абсолютных звёздных величин, т. е. светимостей (для БМО погрешность не превосходит $0,1^m$). Так как Магеллановы Облака расположены на довольно высоких галактических широтах, поглощение света межзвёздной средой нашей Галактики и примесь её звёзд мало искажают картину Магеллановых Облаков. К тому же плоскость БМО почти перпендикулярна лучу зрения, так что видимое соседство входящих в него объектов означает, как правило, и пространственную их близость.

В Магеллановых Облаках много звёздных скоплений всевозможных возрастов и масс; каталог скоплений БМО включает

1600 объектов, а полное их число составляет примерно 5000. Около сотни из них выглядят как шаровые звёздные скопления Галактики и весьма близки к ним по светимости и степени концентрации звёзд. Однако шаровые скопления Галактики все очень стары (10–13 млрд лет), тогда как в Магеллановых Облаках наряду со столь же старыми скоплениями имеется ряд шаровых скоплений (23 в БМО) с возрастaми $\sim 10^7$ – 10^8 лет. Возраст скоплений Магеллановых Облаков однозначно связан с их химическим составом (молодые скопления содержат относительно больше тяжёлых элементов), тогда как у скоплений галактического диска такая корреляция отсутствует.

В БМО известно также 120 обширных группировок молодых звёзд высокой светимости (ОВ-ассоциаций), связанных, как правило, с областями ионизованного водорода (зонами HII). В ММО таких группировок на порядок меньше, молодые звёзды сосредоточены там в основном теле и в «крыле» ММО, вытянутом (вероятно, приливным эффектом) в сторону БМО, тогда как в самом БМО они разбросаны по всему Облаку, а в основном теле преобладают звёзды с возрастом 10^8 – 10^{10} лет. Радиоастрономические наблюдения в линии 21 см нейтрального водорода (HI) показали, что в БМО имеются 52 изолированных комплекса HI со средней массой порядка $10^6 M_\odot$ и размерами 300–900 пк, а в ММО плотность HI почти равномерно нарастает к центру. Доля HI по отношению к полной массе в БМО в несколько раз больше, чем в Галактике, а в ММО больше на порядок. Даже в наиболее молодых объектах БМО содержание тяжёлых элементов несколько меньше, чем в Галактике, а в ММО оно ниже в 2–4 раза.

Все эти особенности можно объяснить тем, что в Магеллановых Облаках не было первоначальной бурной вспышки звездообразования, приведшего в Галактике к исчерпанию основных запасов газа и сравнительно быстрому обогащению его остатков тяжёлыми элементами на протяжении первых миллиардов (или даже сотен миллионов) лет существования Галактики. Присутствие старых шаровых скоплений и переменных звёзд типа RR Лиры доказывает, од-

Характеристики Магеллановых Облаков

Координаты центра (эпоха J2000,0), α δ	БМО 05 ^h 23 ^m 35 ^s –69° 45' 22"	ММО 00 ^h 52 ^m 45 ^s –72° 49' 43"
Галактическая широта	–33°	–45°
Видимые угловые размеры	10,8° × 9,2°	5,3° × 3,1°
Соответствующий линейный размер, кпк	9,1 × 7,8	5,6 × 3,3
Расстояние, кпк	48,5	61 ± 3
Видимая звёздная величина, m_V	0,9 ^m	2,7 ^m
Абсолютная звёздная величина, M_V	–17,9 ^m	–16,3 ^m
Наклонение к лучу зрения	27°	≥ 60°
Средняя лучевая скорость, км/с	+275	+158
Общая масса, $M_\odot$	6 · 10 ⁹	1,5 · 10 ⁹
Масса межзвёздного водорода HI, $M_\odot$	5,4 · 10 ⁸	4,8 · 10 ⁸
Морфологический тип	Irr/SB(s)m	SB(s)m pec

нако, что звездообразование началось в Магеллановых Облаках и в Галактике примерно в одно время.

Замечательной особенностью БМО является звёздная сверхассоциация, в центре которой расположена гигантская зона HII (30 Dor) поперечником около 250 пк и массой $10^5 M_\odot$. В центре этой зоны находится компактное скопление звёзд очень высокой светимости общей массой 10^4 – $10^5 M_\odot$. Это наиболее молодое из известных шаровых скоплений; оно содержит самые массивные из молодых звёзд. Центральный объект скопления на 2^m ярче остальных звёзд. Это компактная группа горячих звёзд, возбуждающая область HII. По ряду характеристик скопление 30 Dor похоже на умеренно активные ядра галактик, следовательно, подобная активность в какой-то мере может быть связана с интенсивным образованием звёзд большой массы. В этой зоне находится несколько остатков сверхновых, в том числе плерионов – остатков типа Крабовидной туманности. В БМО открыто около 100 рентгеновских источников переменной интенсивности; большинство из них отождествляется с остатками сверхновых. Источник LMC X-3 является, наряду с Cyg X-1, наиболее достоверным кандидатом в чёрные дыры.

Оба Магеллановых Облака погружены в общую водородную оболочку. Некоторые

звёздные скопления находятся между Облаками, а прямо через них проходит полоса облаков HI — так называемый Магелланов Поток, в плоскости которого лежат и некоторые другие карликовые галактики — спутники нашей Галактики. Возможно, что газовая перемычка соединяет Магеллановы Облака с нашей Галактикой; некоторые звёзды типа RR Лиры и скопления также находятся на полпути между Солнцем и Облаками. Приливному воздействию со стороны Магеллановых Облаков приписывают искривление периферических областей диска нашей Галактики, которая со своей стороны также оказывает мощное воздействие на структуру Облаков.

МАГНИТАР, или **магнетар** (англ. *magnetar*), — нейтронная звезда, обладающая исключительно сильным магнитным полем, около 10^{14} – 10^{15} Гс, что примерно в миллион миллиардов раз сильнее магнитного поля Земли и в 100–1000 раз сильнее поля обычных нейтронных звёзд-радиопульсаров. Вероятно, у магнитаров самые сильные магнитные поля во Вселенной. Быстро вращаясь, они действуют как огромные электрогенераторы. Если пилот космического корабля окажется вблизи магнитара, между его головой и ногами возникнет напряжение в 100 триллионов вольт! Магнитары — единственные объекты во Вселенной, основной запас энергии которых сосредоточен в магнитном поле. Они проявляют себя как источники ярких вспышек рентгеновского и γ -излучения. Считается, что эти объекты могут быть как повторными источниками мягкого γ -излучения (soft gamma repeater, SGR), так и аномальными рентгеновскими пульсарами (anomalous X-ray pulsar, AXP).

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ — магнитное поле, источник которого располагается в недрах Земли. В первом приближении его можно представить диполем, как поле простого полосового магнита или соленоида, ось которого наклонена на угол около 10° к оси вращения Земли. При этом различают два диполя: геоцентрический и эксцентрический. Геоцентрический диполь, ось которого проходит через центр планеты, неплохо представляет её магнитное поле. Его полюсы, геомагнитные полюсы Земли, симме-

трично отстоят от географических полюсов. С геоцентрическим диполем связана геомагнитная координатная система (по соглашению её нулевой меридиан проходит через южный географический полюс).

Еще точнее представляет магнитное поле Земли эксцентрический диполь. По данным на 2000 г. (модель IGRF-2000), этот диполь смещен от центра Земли примерно на 540 км в направлении северо-западной части Тихого океана, к точке с координатами $21,8^\circ$ с. ш. и $143,2^\circ$ в. д. (у северной оконечности Марианских островов). Координаты полюсов этого эксцентрического диполя: $83^\circ 03'$ с. ш. и $93^\circ 30'$ з. д. в Северном полушарии и $75^\circ 34'$ ю. ш. и $118^\circ 66'$ в. д. — в Южном.

Напряжённость магнитного поля на поверхности Земли зависит от места наблюдения и от времени. При отсутствии возмущений (от Солнца) на северном магнитном полюсе она редко превышает 0,6 Э, на южном 0,7 Э, а на магнитном экваторе 0,4 Э. В среднем магнитное поле у поверхности Земли имеет индукцию около $0,4 \text{ Гс} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$. Правда, в отдельных местах (пример — Курская магнитная аномалия) индукция достигает 2 Гс. Если представить конфигурацию поля диполем, то его магнитный момент составит около $8 \cdot 10^{15} \text{ А} \cdot \text{м}^2 = 8 \cdot 10^{15} \text{ Тл} \cdot \text{м}^3 = 8 \cdot 10^{25} \text{ Гс} \cdot \text{см}^3$.

МАГНИТНЫЕ БУРИ — сильные возмущения магнитного поля Земли. Могут длиться несколько суток. Вызываются воздействием усиленных потоков солнечной плазмы (солнечного ветра) на магнитосферу Земли.

МАГНИТНЫЕ ПОЛЮСЫ — особые точки на поверхности планеты, связанные с конфигурацией её магнитного поля. Истинные магнитные полюсы Земли — это точки на поверхности планеты, в которых вектор индукции магнитного поля направлен вертикально, т. е. магнитное наклонение в этих точках равно 90° . В текущую эпоху магнитные полюсы Земли находятся недалеке от её географических полюсов. Северный магнитный полюс лежит в точке с координатами $86,4^\circ$ с. ш. и $175,3^\circ$ з. д., в Северной Канаде, на расстоянии 402 км от географического северного полюса (данные 2019 г.), Южный — в точке $64^\circ 28'$ ю. ш. и $136^\circ 59'$ в. д., рядом с французской полярной станцией «Дю-

мон-д'Юрвиль», на расстоянии 2846 км от географического южного полюса (данные 2015 г.). Положение этих полюсов со временем меняется. В нынешнюю эпоху в Северном полушарии находится южный (отрицательный) магнитный полюс, а в Южном — северный (положительный), т. е. силовые линии поля выходят из поверхности в районе Антарктиды и входят в Северной Канаде. Однако общепринято магнитные полюсы Земли называть в соответствии с полушарием, в котором каждый из них находится. Нужно иметь в виду, что в районе некоторых очень сильных магнитных аномалий (Курская, Восточно-Сибирская и др.) наблюдаются локальные магнитные полюсы.

Геомагнитные полюсы Земли — это точки пересечения с земной поверхностью оси геоцентрического диполя. В 2020 г. геоцентрический диполь имел магнитный момент $7,8 \cdot 10^{15}$ Тл·м³, а северный геомагнитный полюс лежал в точке с координатами 80,65° с. ш. и 72,68° з. д. (пролив Смит между Гренландией и Сев. Америкой). Южный геомагнитный полюс лежал в симметричной точке с координатами 80,65° ю. ш. и 107,32° в. д. (недалеко от российской антарктической станции «Восток»).

МАГНИТОСФЕРА — область пространства, окружающая планету или звезду, в которой её магнитное поле доминирует над магнитными полями других тел. Размер и форму магнитосферы планеты определяет взаимодействие её магнитного поля с потоком солнечного ветра. В двойных системах звёзды с сильным магнитным полем (например, нейтронные звёзды) также имеют магнитосферы, окружённые потоками звёздного ветра от соседней звезды.

МАЛАЯ МЕДВЕДИЦА — самое северное созвездие, известное также как Малый Ковш, последняя звезда в «ручке» которого, Полярная, располагается примерно в 1° от северного полюса мира. На Руси Полярную звезду раньше называли Прикол. В 2102 г. в результате прецессии земной оси Полярная звезда приблизится к полюсу на минимальное расстояние, примерно 0,5°, и затем будет удаляться от него. Блеск Полярной звезды равен 2,0^m, а расстояние от нас 470 св. лет. Долгие годы она была известна как клас-

сическая цефеида, изменявшая свой блеск на 0,3^m с периодом около 4 сут. Однако в 1990-е гг. колебания её блеска неожиданно прекратились. В древности арабы называли Полярную звезду «козлёнком», а звезду β — Кохаб, что значит «северная звезда»: действительно, с 1500 г. до н. э. по 300 г. она была ближайшей к полюсу; её блеск 2,1^m.

МАЛОЕ ТЕЛО СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (small Solar system body, SSSB) — объект Солнечной системы, не являющийся планетой, спутником планеты или планетой-карликом (dwarf planet). Термин принят МАС в 2006 г. Таким образом, в число малых тел Солнечной системы попали все кометы; все классические астероиды (за исключением Цереры, отнесенной к планетам-карликам); все кентавры (centaur), движущиеся между орбитами планет-гигантов; все троянцы, движущиеся по орбитам планет синхронно с ними, а также почти все объекты за орбитой Нептуна (trans-Neptunian object), кроме объектов, отнесённых к планетам-карликам (Плутон, Эрида и др.).

Все малые тела теперь делятся на две основные группы — движущиеся внутри орбиты Нептуна (cis-Neptunian objects) и вне его орбиты (trans-Neptunian objects, TNOs). Между до-нептуновыми и за-нептуновыми объектами также обнаружили малые тела. Речь идет не о спутниках Нептуна, а об «условно-свободных» телах — троянцах Нептуна. Но чтобы не усложнять классификацию, троянцев Нептуна отнесли к первой группе.

Если не принимать во внимание астероиды Главного пояса, то нынешняя классификация малых тел выглядит так:

Cis-Neptunian objects (объекты в орбите Нептуна)

- Centaurs (кентавры)
- Neptune Trojan (троянцы Нептуна)

Trans-Neptunian objects, TNOs (объекты за орбитой Нептуна)

- Kuiper belt objects, KBOs (объекты пояса Койпера)
- Classical KBOs, Cubewanos (классические, «кьюбивано»)
- Resonant KBOs (резонансные)
- Plutinos, 2:3 Resonance (плутино, резонанс 2:3)

- Scattered disc objects, SDOs (объекты рассеянного диска)
- Detached objects (обособленные объекты)
- Oort cloud objects, OCOs (объекты облака Оорта)

МАЛЫЕ ПЛАНЕТЫ — то же, что астероиды. Термин «малые планеты» устарел. После 2006 г. МАС не рекомендует его употреблять.

МАЛЫЙ ЛЕВ — экваториальное созвездие; расположено прямо над созвездием Лев; название дал Ян Гевелий в 1690 г. Ярких звёзд не содержит. В созвездии лежит радиант слабого метеорного потока, действующего в районе 24 октября. В 2007 г. в этом созвездии был обнаружен необычный внегалактический «объект Ханни». Голландский школьный учитель Ханни ван Аркель (Hanny van Arkel), участвовавший в общественной интернет-программе Galaxy Zoo (классификация галактик на изображениях Слоановского цифрового обзора неба SDSS и архивных снимках космического телескопа «Хаббл»), заметил рядом со спиральной галактикой IC 2497 странное клочковатое облако зелёного цвета, получившее название «Hanny's Voorwerp» (голл.) или «Hanny's Object» (англ.). Расстояние до него оказалось таким же, как до самой галактики (650 млн св. лет), и размерами облако не уступает галактике. Его зелёный цвет связан с излучением ионизованных атомов кислорода. На краю облака, обращённом к галактике, видны две области активного звёздообразования. Природа облака не ясна. Возможно, в недалёком прошлом оно было нагрето квазаром, проявившим активность в ядре галактики IC 2497.

МАЛЫЙ КОНЬ — маленькое экваториальное созвездие. Этот «жеребёнок» был введен Гиппархом и включён в каталог Клавдия Птолемея в его «Альмагесте» под названием Голова Коня. Эта группа невзрачных звёзд 4–5 величины располагается между юго-западным углом Пегаса и Дельфином.

МАЛЫЙ ПЁС — экваториальное созвездие; расположено к востоку от Ориона и к югу от Близнецов. На древних картах Большой и Малый Псы сопровождают охотника Ориона. Ярчайшая звезда (0,4^m) — Процион (греч. «тот, который до собаки»); Процион восхо-

дит перед Сириусом (в Большом Псе). Процион, Сириус и Бетельгейзе (в Орионе) образуют на небе почти равносторонний треугольник. Процион — одна из ближайших к нам звёзд (11,4 св. года), физически мало отличающаяся от Солнца. Подобно Сириусу, Процион — визуальная двойная звезда. В 1844 г. по колебаниям собственного движения Проциона немецкий астроном Фридрих Бессель (1784–1846) заподозрил наличие у него спутника, а 14 ноября 1896 г. Дж. Шерберле, наблюдая в 36-дюймовый рефрактор Ликской обсерватории (Калифорния), обнаружил рядом с Проционом звездочку 13^m. Как и в случае с Сириусом, спутник Проциона оказался белым карликом, обращающимся по орбите с периодом 40,65 года и имеющим в 15 тыс. раз меньшую яркость, чем главный компонент системы. Основная трудность его обнаружения, как и спутника Сириуса, состояла в ослепляющем действии более яркого компаньона.

МАРС — планета Солнечной системы, четвёртая от Солнца, удалённая от него на 227,9 млн км = 1,52 а. е. Эксцентриситет орбиты 0,093. Орбитальный период 686,97 сут = 668,599 сол (марсианских солнечных суток). В перигелии Марс приближается к Солнцу на 206,7 млн км = 1,38 а. е., в афелии удаляется на 249,2 млн км = 1,67 а. е. Синодический период Марса составляет около 780 сут. С таким периодом (в среднем) происходят противостояния Марса, когда он сближается с Землёй. Наиболее тесные сближения — великие противостояния — происходят один раз в 15 или 17 лет, когда Марс в момент противостояния находится в районе перигелия своей орбиты (см. *Великое противостояние Марса*). На земном небосводе блеск Марса изменяется от +1,6^m до –3,0^m. Его наибольший видимый угловой диаметр 25", а наименьший 3,5".

Масса Марса $6,419 \cdot 10^{23}$ кг (11% от массы Земли). Экваториальный радиус Марса 3396 км (53% от радиуса Земли); полярный радиус 3376 км; сжатие 0,006. Средняя плотность планеты 3,93 г/см³ (71% от плотности Земли). Ускорение свободного падения у поверхности Марса 3,71 м/с² (в 2,66 раза меньше, чем на Земле). Вторая космическая скорость у поверхности Марса 5,03 км/с.

Период вращения Марса (звёздные сутки) $1,025957 \text{ сут} = 24,6229^{\text{h}} = 24^{\text{h}} 37^{\text{m}} 22,4^{\text{s}}$. Продолжительность солнечных суток 1 сол = $24^{\text{h}} 39^{\text{m}} 35,244^{\text{s}}$. Экватор наклонён к плоскости орбиты на $25,2^{\circ}$ (почти как у Земли). Поэтому на Марсе происходит смена сезонов года, аналогичная земной. На поверхности наблюдается множество устойчивых деталей: яркие области оранжево-красноватого цвета (материки площадью около $2/3$ диска); полярные шапки — белые пятна, образующиеся вокруг полюсов осенью и исчезающие в начале лета; тёмные области («морья»), занимающие $1/3$ диска; бассейны и кратеры — следы метеоритной бомбардировки; множество гор вулканического происхождения (высотой до 25–28 км); множество проявлений эрозии, области с хаотическим рельефом, каналы и т. д. Грунт раздроблен и усыпан множеством каменных блоков. Породы по составу похожи на земные, но с преобладанием окислов железа.

Атмосфера Марса (CO_2 95%, N_2 2,7%, Ar 1,6%) весьма разреженная — давление у поверхности 0,006 бар. Температура у поверхности от -143°C до $+35^{\circ}\text{C}$, средняя температура -63°C . Полярные шапки состоят из CO_2 и H_2O . Эквивалентная толщина слоя атмосферной осаждённой воды не более 10–20 мкм (на Земле — около 1 см). Остальная вода скована в недрах вечной мерзлотой. Скорость ветра в атмосфере обычно не превышает нескольких метров в секунду, но иногда возрастает до 40–50 м/с, вызывая глобальные пылевые бури — специфически марсианские явления, продолжающиеся порой несколько месяцев. Магнитное поле Марса в тысячу раз слабее земного.

Марс имеет два маленьких естественных спутника — Фобос и Деймос.

МАСКОНЫ (англ. *mascon* от *mass concentration* концентрация массы) — геологические образования, входящие в состав литосферы Луны на относительно небольшой глубине от поверхности и вызывающие положительные гравитационные аномалии, т. е. избыток гравитационного ускорения по сравнению с простой гладкой моделью гравитационного поля Луны. Были обнаружены и локализованы по возмущениям, впервые наблюдавшимся в 1960-е гг. в движении искус-

ственных спутников Луны: в некоторых местах орбиты движение спутников отклонялось от расчётного — реальная траектория проходила ближе к поверхности. Эта особенность гравитационного поля Луны проявилась уже при наблюдении за движением её первого искусственного спутника «Луна-10». Неучёт наличия масконов, возможно, привёл к потере некоторых посадочных аппаратов (обычно называют попытку посадить грунтозаборный аппарат «Луна-15» в 1969 г.). С другой стороны, учёт их наличия позволил в 1969 г. очень точно осуществить посадку экспедиции «Аполлон-12» в 163 м от ранее севшего на Луну зонда «Сервейор-3».

Чаще всего масконы расположены под лунными морями, имеющими округлую форму. Их происхождение связывают с ударами крупных космических тел в эпоху интенсивной метеоритной бомбардировки около 4 млрд лет назад, создавшей гигантские, многокилометровой глубины, выемки в лунной коре. Находящаяся ниже более плотная, чем кора, расплавленная мантия выдавливалась вверх дно образовавшейся от удара геологической депрессии-выемки, образуя под ней линзу — выпуклость, состоящую из вещества поднявшейся мантии. Некоторая часть вещества мантии прорывалась в виде лавы на поверхность и заполняла оставшуюся часть этой депрессии. Таким образом в некоторых местах лунной коры образовались районы, где её плотность оказалась большей, чем в других областях.

Не исключено, что масконы существуют на Марсе и Меркурии.

МАССЫ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ. В основе измерения масс большинства небесных тел лежат законы механики и закон всемирного тяготения Ньютона, позволяющие связать ускорение пробного тела с массой измеряемого объекта: $g = GM/R^2$, где g — ускорение свободного падения, G — ньютонова постоянная тяготения, M — масса сферического тела, R — расстояние от его центра. (Релятивистские законы иногда используются для оценки массы компактных объектов, например белых карликов, по гравитационному красному смещению линий в их спектрах.) Для определения абсолютного значения массы (в килограммах) с помощью зако-

на тяготения требуется независимое лабораторное измерение значения G . Поскольку точность измерения G пока не превышает 4 значащих цифр, определение абсолютной массы небесных тел ограничено этой же точностью (0,01%), хотя ускорение свободного падения на поверхности небесного тела или на орбите его спутника может быть измерено значительно точнее.

Методы определения и характерные значения. В основе расчётов масс лежит закон всемирного тяготения:

$$F = GM_1M_2/r^2,$$

где F — сила взаимного притяжения масс M_1 и M_2 , пропорциональная их произведению и обратно пропорциональная квадрату расстояния r между их центрами. В астрономии часто (но не всегда) можно пренебречь размерами тел по сравнению с разделяющими их расстояниями, отличием их формы от точной сферы и уподоблять небесные тела материальным точкам, в которых сосредоточена вся их масса. Коэффициент пропорциональности $G = 6,674 \cdot 10^{-8} \text{ см}^3 \text{ г}^{-1} \text{ с}^{-2} = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2} = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ Н(м/кг)}^2$ называется (ньютоновой) гравитационной постоянной или просто постоянной тяготения. Её находят из физического эксперимента с крутильными весами, позволяющими определить силу гравитационного взаимодействия тел известной массы.

В случае свободного падения тел сила F , действующая на тело, равна произведению массы тела M на ускорение свободного падения g , которое может быть определено, например, по периоду T колебаний вертикального маятника: $T = 2\pi \sqrt{l/g}$, где l — длина маятника. На широте 45° на уровне моря $g = 9,806 \text{ м/с}^2$. Подстановка выражения для сил земного притяжения $F = Mg$ в закон всемирного тяготения приводит к зависимости

$$g = GM/R^2,$$

где $M_\oplus$ — масса Земли, а R — радиус земного шара. Таким путём была определена масса Земли $M \approx 6,0 \cdot 10^{27} \text{ г}$. Измерение массы Земли служит первым звеном в цепи определений масс других небесных тел (Солнца, Луны, планет, а затем и звёзд). Массы этих тел находят, опираясь либо на 3-й закон Кеплера, либо на «правило рычага»: расстоя-

ния каких-либо масс от общего центра масс обратно пропорциональны самим массам. Это правило позволяет определить массу Луны.

Из измерений точных координат планет и Солнца найдено, что Земля и Луна с периодом в один месяц движутся вокруг барицентра — центра масс системы Земля — Луна. Расстояние центра Земли от барицентра равно $0,730R$ (он расположен внутри земного шара). Среднее расстояние центра Луны от центра Земли составляет $60,08R$. Отсюда отношение расстояний центров Луны и Земли от барицентра равно $1/81,3$. Поскольку это отношение обратно отношению масс Земли и Луны, масса Луны $M_L = M/81,3 \approx 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$.

Массу Солнца можно определить, применив 3-й закон Кеплера к движению Земли (вместе с Луной) вокруг Солнца и движению Луны вокруг Земли:

$$a^3/[T^2(M_\odot + M)] = a_L^3/[T_L^2(M + M_L)],$$

где a — большие полуоси орбит, T — периоды обращения (сидерические, т. е. звёздные). Пренебрегая M по сравнению с $M_\odot$, получим отношение $M_\odot/(M + M_L)$, равное 329 390. Отсюда $M_\odot \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$, или около $3,3 \cdot 10^5 M$.

Аналогичным путём определяют массы планет, имеющих спутники. Массы планет, не имеющих спутников, определяют по возмущениям, которые они оказывают на движение соседних с ними планет. Теория возмущённого движения планет позволила заподозрить существование тогда неизвестной планеты Нептун, найти её массу и предсказать положение на небе.

Массу звезды (помимо Солнца) можно определить с высокой надёжностью, только если она является компонентом визуально-двойной звезды, расстояние до которой известно. В этом случае 3-й закон Кеплера даёт сумму масс компонентов (в $M_\odot$):

$$M_1 + M_2 = (a''/p'')^3 \sqrt{P},$$

где a'' — большая полуось (в секундах дуги) истинной орбиты спутника вокруг главной (обычно более яркой) звезды, которую в этом случае считают неподвижной, P — период обращения в годах, p'' — параллакс системы (в секундах дуги). Величина a''/p'' даёт большую полуось орбиты в а. е. Если

можно измерить угловые расстояния r компонентов от общего центра масс, то их отношение даст величину, обратную отношению масс: $r_1/r_2 = M_2/M_1$. Найденная сумма масс и их отношение позволяют получить массу каждой звезды в отдельности. Если компоненты двойной имеют примерно одинаковый блеск и сходные спектры, то полусумма масс $(M_1 + M_2)/2$ даёт верную оценку массы каждого компонента и без дополнительного определения их отношения.

Для других типов двойных звёзд (затменных двойных и спектральных двойных) есть ряд возможностей приблизительно определить массы звёзд или оценить их нижний предел. Совокупность данных о массах компонентов двойных звёзд позволила обнаружить важную статистическую зависимость между их массами и светимостями (см. *Зависимость масса — светимость*). Она позволяет оценивать массы одиночных звёзд по их светимостям, т. е. по абсолютным звёздным величинам (M), которые определяются по формуле:

$$M = m + 5 + 5 \lg p - A(r),$$

где m — видимая звёздная величина, p — параллакс и $A(r)$ — величина межзвёздного поглощения света в данном направлении до расстояния $r = 1/p$.

Если параллакс звезды не измерен, то приближённое значение абсолютной звёздной величины можно определить по её спектру. Для этого необходимо, чтобы спектрограмма позволяла не только узнать спектральный класс звезды, но и оценить относительные интенсивности некоторых пар спектральных линий, чувствительных к «эффекту абсолютной величины». Иначе говоря, сначала необходимо определить класс светимости звезды — принадлежность к одной из последовательностей на диаграмме Герцшпрунга — Рассела, а по классу светимости — её абсолютную величину. По полученной таким образом абсолютной величине можно найти массу звезды, воспользовавшись зависимостью «масса — светимость» (ей не подчиняются лишь белые карлики, коричневые карлики и нейтронные звезды).

Ещё один метод оценки массы звезды связан с измерением гравитационного красного смещения спектральных линий в её по-

ле тяготения. В сферически-симметричном поле тяготения оно эквивалентно доплеровскому красному смещению $\Delta v_r = 0,635 M/R$, где M — масса звезды в единицах массы Солнца, R — радиус звезды в единицах радиуса Солнца, а Δv_r выражено в км/с. Это соотношение установлено по тем белым карликам, которые входят в состав двойных систем. Для них известны радиусы, массы и истинные лучевые скорости v_r , являющиеся проекциями орбитальной скорости.

Невидимые (тёмные) спутники обнаруживаются около некоторых звёзд, как правило, по наблюдаемым колебаниям лучевой скорости (v_r) звезды, связанным с её движением около общего центра масс. Этот метод особенно эффективен для обнаружения экзопланет. Измерив амплитуду и период колебания v_r и по зависимости масса — светимость определив массу звезды, нетрудно оценить и массу невидимого спутника. К сожалению, эффект Доплера чувствителен лишь к лучевой скорости звезды, т. е. к проекции полного вектора её скорости на луч зрения наблюдателя (прямая, соединяющая наблюдателя со звездой). Поэтому скорость движения звезды, а значит, и масса планеты определяются с точностью до множителя $\cos \alpha$, где α — угол между плоскостью орбиты планеты и лучом зрения наблюдателя. Вместо точного значения массы планеты (M_p) доплеровский метод даёт лишь нижнюю границу её массы ($M_p \cos \alpha$). Обычно угол α неизвестен. Лишь при прохождении планеты по диску звезды можно быть уверенным, что α близок к нулю. Но у доплеровского метода есть два важных преимущества: он работает на любых расстояниях (если получен спектр) и его точность не зависит от расстояния.

Наблюдения показали, что массы звёзд заключены в пределах примерно от 0,1 до $150 M_\odot$. Наибольшее количество звёзд имеет массы от 0,3 до $3 M_\odot$. Средняя масса звёзд в ближайших окрестностях Солнца $\approx 0,5 M_\odot$, т. е. $\approx 10^{30}$ кг. Различие в массах звёзд оказывается много меньшим, чем их различие в светимостях (последнее может достигать десятков миллионов). Сильно различаются и радиусы звёзд. Это приводит к разительному различию их средних плотностей:

от $5 \cdot 10^{-5}$ до $3 \cdot 10^5$ г/см³ (средняя плотность Солнца 1,4 г/см³).

Расчёты показывают, что при массе менее примерно $0,1 M_{\odot}$ температура в недрах космического тела не достигает тех значений, при которых активно протекают термоядерные реакции, способные длительное время поддерживать свечение тела. Однако и такие объекты обнаружены; их называют коричневыми (или бурыми) карликами. Некоторое время они светятся за счёт гравитационного сжатия, но затем быстро остывают. Их массы заключены в диапазоне примерно от $0,01 M_{\odot}$ до $0,1 M_{\odot}$. Ещё менее массивные объекты называют планетами; в их недрах термоядерные реакции вообще не протекают.

Массу рассеянного звёздного скопления можно определить, сложив массы всех его членов, светимости которых определяют по их видимому блеску и расстоянию до скопления, а массы — по зависимости масса — светимость. Массу шарового звёздного скопления далеко не всегда можно оценить путём подсчёта звёзд, так как в центральной области большинства таких скоплений изображения отдельных звёзд на фотографиях, полученных с оптимальной экспозицией, сливаются в одно светящееся пятно. Есть методы оценки общей массы всего скопления, основанные на статистических принципах. Так, например, применение теоремы о вириале позволяет оценить массу скопления $M_{\text{ск}}$ (в $M_{\odot}$) по радиусу скопления r (пк) и среднеквадратичному отклонению $\Delta v_{\text{ср}}^2$ лучевой скорости отдельных звёзд (в км/с) от среднего её значения (т. е. от лучевой скорости скопления как целого): $M_{\text{ск}} \approx 800 \Delta v_{\text{ср}}^2 r$.

Метод определения массы Галактики $M_{\text{Г}}$ исходит из факта её вращения. Устойчивость вращения позволяет предположить, что центростремительное ускорение для каждой звезды, в частности для Солнца, определяется притяжением вещества Галактики в пределах солнечной орбиты. Считая, что Солнце движется практически по круговой орбите, а распределение плотности в Галактике близко к сферически симметричному, легко найти скорость движения Солнца: $V_0 = \sqrt{GM_0/R_0}$, где M_0 — масса Галактики внутри орбиты Солнца, R_0 — расстоя-

ние Солнца от центра Галактики. Тогда масса $M_0 = V_0^2 R_0 / G$. Астрономические измерения показывают, что $V_0 \approx 220$ км/с и $R_0 \approx 8$ кпк. Отсюда $M_0 \approx 9 \cdot 10^{10} M_{\odot}$. Определить массу внешних по отношению к галактической траектории Солнца частей Галактики помогает измерение скоростей движения далёких от её центра звёзд и облаков межзвёздного газа. Оказывается, что вплоть до расстояния около 18 кпк от центра Галактики скорости их движения по круговым орбитам остаются приблизительно такими же, как у Солнца. Следовательно, масса Галактики в этих пределах составляет около $2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$. На более далёких расстояниях звёзд и газа уже почти нет, однако масса Галактики продолжает возрастать вплоть до $R \approx 100$ кпк: на это указывает движение небольших галактик-спутников, обращающихся вокруг нее. Их скорости составляют около 200 км/с, откуда следует, что полная масса Галактики близка к $10^{12} M_{\odot}$. В какой именно форме заключена невидимая масса на периферии Галактики, пока не ясно. Условно носитель этой скрытой массы называют тёмным веществом или тёмной материей.

Масса внешней спиральной галактики может быть определена по результатам изучения её вращения, например из анализа кривой лучевых скоростей, измеренных в различных точках большой оси видимого эллипса галактики. В каждой точке галактики центростремительная сила пропорциональна массе более близких к центру галактики областей и зависит от закона изменения плотности галактики с удалением от её центра. Спектроскопические наблюдения в оптическом диапазоне позволили построить кривые вращения спиральных галактик до расстояний 20–25 кпк от центра (а у ряда галактик высокой светимости — до 40 кпк и более). Вплоть до этих расстояний круговая скорость у большинства крупных галактик не уменьшается с увеличением R , т. е. масса галактики продолжает расти с расстоянием. Таким образом, в других галактиках тоже имеется скрытая масса, которая может в 10 и более раз превосходить массу светящегося вещества. Предположительно носителем скрытой массы могут служить элементарные частицы неизвестного пока типа.

Для медленно вращающихся галактик, какими являются, например, эллиптические галактики, трудно получить кривые лучевых скоростей, но зато можно по расширению спектральных линий оценить среднюю скорость звёзд в системе и, сопоставив её с истинными размерами галактики, определить массу последней. Чем больше скорость звёзд, тем больше должна быть масса галактики (при одинаковых размерах). Зависимость между массой, размерами галактики и средней скоростью звёзд вытекает из условия стационарности системы.

Ещё один способ оценки массы галактик — компонентов двойных систем — аналогичен методу оценки масс компонентов спектральных двойных звёзд (ошибка не превышает 20%). Используют также установленную статистическую зависимость между массой и интегральной светимостью галактик различного типа (своего рода зависимость масса — светимость для галактик). Светимость определяется по видимой интегральной звёздной величине и расстоянию, которое оценивается по красному смещению линий в спектре.

Известные ныне массы галактик заключены в пределах от $\sim 10^5 M_{\odot}$ (так называемые карликовые галактики) до $10^{13} M_{\odot}$ (гигантские эллиптические галактики; например, галактика M87 имеет массу $6 \cdot 10^{12} M_{\odot}$ в пределах радиуса 50 кпк), т. е. отношение масс галактик доходит до 10^8 .

Точность определения масс астрономических объектов зависит от точности определения всех величин, входящих в соответствующие формулы. Массы Земли, Луны, планет и Солнца определены с погрешностью $\pm 0,01\%$, которая зависит лишь от точности лабораторного измерения гравитационной постоянной G , поскольку все остальные величины, входящие в формулы, т. е. расстояния и периоды, измерены значительно точнее. Но за пределами Солнечной системы ситуация иная: там точность определения массы зависит от точности измерения расстояния до космического объекта, в случае двойных звёзд — от расстояния между ними, от линейных размеров тел и т. д. Массы звёзд определены с погрешностью от 20 до 60%. Неуверенность опре-

деления масс галактик можно характеризовать коэффициентом от 2 до 4 (т. е. истинная масса может быть в несколько раз больше или меньше измеренной), если надёжно определено расстояние до них.

МАУНДЕРОВСКИЙ МИНИМУМ — период очень низкой активности Солнца между 1645 и 1715 гг., когда на диске Солнца почти не было пятен. Это явление впервые описал английский астроном Э. У. Маундер. Хотя солнечные пятна были открыты в 1610 г. и систематически наблюдались даже в самые первые, примитивные телескопы, в период маундеровского минимума было лишь несколько сообщений об их появлении, и каждый раз опытные наблюдатели воспринимали это как редчайшее событие. Бывали периоды в несколько лет, когда не появлялось ни одного пятна. После 1715 г. их количество вновь возросло. Любопытно, что в это же время наблюдались сильные холода: период с 1550 г. до 1850 г. известен как Малый ледниковый период в Европе. Правда, пока его физическая связь с маундеровским минимумом солнечной активности не доказана.

МАЧО-ОБЪЕКТЫ — сленговый термин, использующий аббревиатуру английского выражения «Massive Compact Halo Objects» (MACHO), т. е. «массивные компактные объекты гало». Так называют астрономические объекты, практически невидимые в оптическом и иных диапазонах электромагнитного излучения и проявляющие себя исключительно гравитационным притяжением. Гипотеза о существовании большого количества таких объектов в нашей Галактике (в основном на её периферии — в гало) и в других крупных галактиках выдвигалась для объяснения парадокса «скрытой массы». Он состоит в том, что движение легко наблюдаемых звёзд и газа позволяет вычислить полную массу Галактики, которая оказывается значительно — в несколько раз — больше суммарной массы всех этих наблюдаемых звёзд и газа и требует наличия некой «тёмной материи».

Одно время на роль тёмной материи предлагались небесные тела известной природы, излучающие мало света. К ним, в частности, относятся планеты-гиганты (размером с Юпитер и больше), коричневые кар-

лики (звёзды с весьма непродолжительной стадией термоядерного горения), красные карлики (слабосветящиеся звезды), нейтронные звёзды (звёздные ядра, пережившие катастрофическое сжатие — коллапс) и чёрные дыры. Все они состоят из обычного барионного вещества и не требуют расширения существующих физических теорий.

Однако астрономические наблюдения (см. *Гравитационная линза*) показывают, что, хотя все эти «мачо-объекты» существуют в природе, их количество недостаточно, чтобы полностью объяснить парадокс скрытой массы. Например, в гало Галактики около 20% тёмной материи может быть в форме мачо-объектов с массами от 15 до 90% $M_{\odot}$. Поэтому большинство теоретиков считает, что основу скрытой массы галактик составляют элементарные частицы нового типа, слабо взаимодействующие с нормальным веществом — почти исключительно через гравитацию.

МЕЖГАЛАКТИЧЕСКАЯ СРЕДА включает разреженный ионизованный газ, космические лучи, нейтрино, кванты электромагнитного излучения (главным образом реликтового) и другие виды материи (например, тёмное вещество неизвестной природы), заполняющей пространство между галактиками. От средней плотности межгалактической среды зависит характер эволюции (расширения) Вселенной, но точное значение этой плотности ещё не определено (оно меньше $2 \cdot 10^{-30}$ г/см³). В скоплениях галактик плотность межгалактической среды повышена, а температура межгалактического газа там составляет $\sim 10^8$ К.

МЕЖДУНАРОДНАЯ НЕБЕСНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЁТА — современная стандартная система небесных координат, похожая на систему экваториальных координат, но, в отличие от неё, не связанная с положением оси вращения Земли. Экваториальная система координат служила астрономам более 300 лет, но от неё пришлось отказаться. К сожалению, основные направления экваториальной системы не остаются неизменными: ось вращения Земли и плоскость земной орбиты медленно меняют ориентацию, и экваториальные координаты звёзд постепенно изменяются, даже если сами звёз-

ды неподвижны. Но ведь звёзды движутся, и одна из главных целей, ради которой устанавливают систему координат, — это именно измерение движений звёзд. Если сама система координат подвижна, причём не всегда предсказуемым образом, то измерять в ней малые движения звёзд очень сложно. Поэтому астрономы всегда стремились построить «идеальную» систему координат, связанную с такими небесными телами, которые можно считать неподвижными.

Такие тела нашлись. Это квазары, самые удалённые небесные объекты. Их видимые перемещения на небесной сфере пренебрежимо малы. Даже если квазар движется перпендикулярно лучу зрения со скоростью света (!), то, находясь от нас на расстоянии в миллиард световых лет, он перемещается по небу на $2 \cdot 10^{-4}$ секунды дуги в год. Такое движение пока нельзя обнаружить. Есть и ещё одна выгода: квазары излучают радиоволны, и их можно наблюдать методами радиоастрономии. Измерение углов радиоинтерферометрами в наши дни значительно точнее оптических измерений.

Современная «стандартная система координат» уже не связана с вращением Земли вокруг оси и её движением вокруг Солнца. Но астрономы постарались, чтобы стандартная и экваториальная системы были близки хотя бы в нашу эпоху, поэтому они в точности совпадали в начале 2000 г. Официальное название новой системы — International Celestial Reference System (международная небесная система отсчёта), сокращённо ICRS. Под этим названием подразумеваются правила построения системы. Конкретный набор квазаров с их координатами называют международным небесным базисом, International Celestial Reference Frame, ICRF. Это реализация ICRS. По мере накопления более точных наблюдений реализация может быть обновлена. Заметим, впервые за почти трёхтысячелетнюю историю основная систем небесных координат оказалась не связана с Землёй. Это знаменует новый и очень важный этап в развитии астрометрии.

На координаты звёзд в системе ICRS не влияет движение земной оси (прецессия и нутация), а также изменение ориентации

земной орбиты под действием притяжения планет (так называемая планетная прецессия, вносящая вклад в перемещение точки весеннего равноденствия). В системе ICRS изменение координат звёзд связано лишь с их собственным движением в пространстве и с абберацией, и для их определения в конкретный момент наблюдения не требуется вводить всевозможные поправки: за прецессию, за нутацию... Это очень удобно при наблюдениях, например, с космическим телескопом, но проводя наблюдения с земной поверхности, нужно помнить, что телескоп установлен на подвижной Земле, которая обращается вокруг Солнца и вращается вокруг оси, причём сама эта ось меняет ориентацию. Так что для определения видимых мест небесных светил в конкретный момент времени земному наблюдателю, чтобы навести на звезду телескоп, всё равно придётся вводить большинство традиционных поправок (прецессия, нутация, вращение Земли, годовая и суточная абберации...). Но в целом астрономы существенно выигрывают при переходе от экваториальной системы к системе ICRS.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ СОЮЗ — международная организация, объединяющая профессиональных астрономов от уровня кандидата наук (PhD) и выше и координирующая мировую астрономическую деятельность. Международный астрономический союз (MAC, International Astronomical Union, IAU) был основан в 1919 г., в настоящее время его штаб-квартира находится в Париже. В 2020 г. в составе MAC около 14 тыс. индивидуальных членов из 102 стран, причём 82 страны являются его национальными членами. В компетенцию MAC входит присвоение названий вновь открываемым объектам (планетам, кометам, астероидам, новым звёздам), а также деталям на поверхностях планет и их спутников.

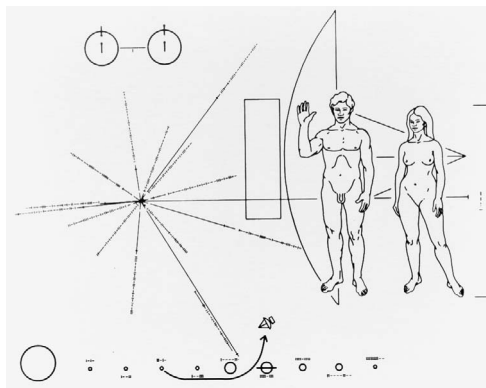
МЕЖЗВЁЗДНАЯ ПЫЛЬ — твёрдые микроскопические частицы, входящие в состав межзвёздной среды и в основном ответственные за межзвёздное поглощение света. Размер частиц межзвёздной пыли от 0,01 до 0,2 мкм (т. е. она значительно мельче обычной бытовой пыли). Вероятно, космические пылинки имеют тугоплавкое ядро (гра-

фитовое, силикатное или металлическое), окружённое органическим веществом или ледяной оболочкой.

МЕЖЗВЁЗДНАЯ СВЯЗЬ — связь с внеземными цивилизациями, которые, возможно, существуют на планетах вблизи других звёзд. Их поиск предпринимается учёными Канады, России, США и других стран и основан на попытках зарегистрировать радиосигналы или оптические сигналы цивилизаций, возможно, существующих в нашей Галактике или в соседних звёздных системах.

Экономические оценки показывают, что выгоднее всего устанавливать межзвёздную связь на волне длиной около 10 см. У более коротких волн каждый электромагнитный квант, переносящий единицу информации, имеет большую энергию, а значит, дороже стоит. А на более длинных волнах естественное излучение межзвёздной среды Галактики создаёт сильные помехи, и для их преодоления необходимо значительно увеличивать мощность передаваемого сигнала. По этой причине почти все прошлые и нынешние программы по поиску внеземных цивилизаций предпринимались с помощью радиотелескопов. В первой из них, осуществлённой в 1960 г. Национальной радиоастрономической обсерваторией Грин-Бэнк (шт. Зап. Виргиния, США), пытались принять радиосигналы от ближайших к Солнцу звёзд. К концу 1970-х гг. в Грин-Бэнк было обследовано около 700 звёзд Галактики. Подобные поиски проводились также в радиообсерваториях Алгонкин (Канада), Огайского университета (США), а также вблизи Москвы и Нижнего Новгорода. Поиск сигналов от ближайших галактик предпринимался с помощью крупнейшего на тот момент в мире радиотелескопа в Аресибо на о. Пуэрто-Рико.

Если в 1960-е и 1970-е гг. поиски проводились лишь на волнах 21 см и 18 см, то теперь приём сигнала ведётся одновременно в десятках миллионов и даже миллиардах узких частотных диапазонов, что значительно увеличивает эффективность поиска. И все же при нынешней радиоастрономической технике есть шанс зафиксировать сигналы только очень близких или очень мощных передатчиков.



Изображение на табличке, отправленной на борту аппаратов «Пионер»

Предпринимались также попытки поиска сигналов в оптическом и инфракрасном диапазонах спектра, но и они пока не принесли успеха.

В процессе поиска межзвёздных сигналов решаются не только радиотехнические проблемы, но и сложнейшие информационные и лингвистические задачи — например, как отличить искусственный сигнал от естественного, как выделить в нём полезную информацию и расшифровать её смысл, как составить сообщение для иных разумных существ, которые не знают о нас ничего.

Осуществлялась и посылка межзвёздных сообщений различного типа. Первыми из них стали таблички на борту межпланетных станций «Пионер-10 и -11», стартовавших соответственно в 1972 и 1973 гг. и покинувших Солнечную систему. На этих табличках показано положение Земли в Солнечной системе и в Галактике, а также внешний вид человека. На схеме Солнечной системы прочерчена траектория полёта аппарата: от Земли, мимо Юпитера — к звёздам. Люди изображены на фоне силуэта «Пионера» для масштаба. Звездообразная фигура показывает положение Солнечной системы в Галактике относительно 14 радиопульсаров; точный период каждого пульсара записан в двоичном коде вдоль луча, указывающего направление к нему от Солнца. Единицами измерения длины и времени служат характеристики линии излучения атома водорода (его схема помещена в верхней части таблички): длина этой линии 21 см,

а частота 1420 МГц. В космосе эти таблички сохраняются сотни миллионов, а возможно, и миллиарды лет и станут самым долгоживущим произведением человеческих рук.

Следующим стало радиосообщение, посланное из обсерватории в Аресибо в ноябре 1974 г. в сторону шарового звёздного скопления Мессье 13. В нём содержатся данные о внешности и биохимии человека, о населении Земли и строении Солнечной системы, об уровне нашей техники. Фактически оно было простым двумерным изображением («почтовой открыткой»), содержащей всего 1679 бит информации. Адресату требовалось понять, что послание следует расположить в виде 23 столбцов по 73 бита в каждом и по-разному раскрасить сигналы и паузы. Химическими формулами были описаны компоненты молекулы ДНК: фосфатная группа, сахар дезоксирибоза и органические основания — тимин, аденин, гуанин и цитозин. Рост человека и диаметр антенны радиотелескопа указаны в единицах длины волны, на которой велась передача: 12,6 см.

Третье послание (в двух экземплярах) было отправлено в 1977 г. на борту межпланетных зондов «Вояджер-1 и -2», также покинувших Солнечную систему. Это металлический диск диаметром 30 см, на котором сделана запись по принципу грампластинки. Записаны природные звуки — шум моря и леса, крики животных, — а также приветствия людей на разных языках и фрагменты известных музыкальных произведений. Кроме этого, методом телевизионной развёртки записано 118 неподвижных изображений с видами Земли и планет, людей и животных и много научных данных.

Позже в направлении различных звёзд (в том числе и к звёздам с планетами) неоднократно отправлялись радиопослания, но принять сигналы внеземного разума пока не удалось.

МЕЖЗВЁЗДНАЯ СРЕДА — разреженное вещество, заполняющее пространство между звёздами в галактике. По традиции межзвёздной средой называют только обычное, барионное, вещество, хотя в некоторых областях галактик, особенно на периферии, пространство между звёздами в основном заполнено невидимой тём-

ной материей. Но поскольку её природа пока неизвестна, её не включают в понятие межзвёздной среды. Основные компоненты межзвёздной среды — газ, пыль и космические лучи (быстро движущиеся протоны, электроны и ядра лёгких элементов). Это вещество пронизано магнитным полем и электромагнитным излучением. В межзвёздной среде преобладает газ (обычно не менее 95% массы), остальное вещество сосредоточено в мелких твёрдых частицах. Масса космических лучей ничтожна, но их влияние на остальные компоненты межзвёздной среды весьма ощутимо, поскольку энергия каждой частицы очень велика.

Типичная плотность газа — от 0,01 до 1000 атомов в 1 см^3 , а прочих компонентов — значительно ниже. Состав газа — водород (около 73% по массе), гелий (около 25%) и прочие элементы (в сумме около 2%). Поскольку температура межзвёздной среды составляет от 5–10 К в плотных облаках, до 1 млн К в остатках сверхновых звёзд, газ может быть в ионизованном, атомарном или молекулярном состоянии. В межзвёздной среде обнаружены сотни типов молекул: H_2 , CO, CS, OH, H_2CO , CH_3OH , SO_2 , HC_{11}N и др. Твёрдые частицы межзвёздной пыли имеют размер 0,01–0,5 мкм и, возможно, представляют собой графитовые и силикатные ядра, покрытые оболочками из органических молекул и льдов.

Хотя характерная плотность межзвёздного вещества очень мала, порядка 1 атома в 1 см^3 , из-за огромного объёма галактики полная масса этого разреженного вещества в ней достигает миллиардов масс Солнца. Доля межзвёздной среды составляет менее 1% массы у эллиптических галактик, около 5% у спиральных и более 10% у неправильных. Химический состав межзвёздной среды близок к составу молодых звёзд (это естественно, поскольку звёзды недавно сформировались из неё): на 1000 атомов водорода приходится около 100 атомов гелия и 2–3 атома более тяжёлых элементов. При этом значительная часть тяжёлых элементов входит в состав межзвёздной пыли.

Происхождение межзвёздной среды носит сложный характер: частично это догалактический газ, не вошедший в состав звёзд,

частично — газ, попавший в галактику извне (например, вместе с упавшей на неё другой галактикой), и частично — газ, потерянный звёздами самой галактики в форме звёздного ветра, планетарных туманностей, оболочек новых и сверхновых звёзд. В нашей Галактике именно звёзды служат основным источником межзвёздной среды. В свою очередь, межзвёздная среда постоянно расходуется на формирование звёзд и планетных систем.

МЕЖЗВЁЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА — ослабление оптического излучения, распространяющегося сквозь межзвёздную среду. Более точный термин для этого эффекта — «межзвёздная экстинкция света», поскольку понятие «экстинкция» объединяет эффекты истинного поглощения и рассеяния света средой. Поглощение и рассеяние света в основном обусловлены межзвёздной пылью, поэтому свет далёких объектов максимально ослаблен в направлениях на плотные газово-пылевые межзвёздные облака, сконцентрированные в диске Галактики. В окрестности Солнца в плоскости Галактики поглощение в визуальном диапазоне (фильтр V) составляет в среднем 2^m на 1 кпк. Это означает, что блеск звезды, удалённой от нас на 1 кпк, в среднем ослаблен межзвёздным поглощением в $2,512^2 = 6,3$ раза. При этом в межоблачной среде поглощение сравнительно невелико: в окрестности Солнца вблизи плоскости Галактики — около $0,3^m$ на 1 кпк. Но в облаках оно значительно выше. Если звезда находится в центре Галактики, на расстоянии около 8 кпк от Солнца, то её блеск ослаблен межзвёздным поглощением на 16^m ($= 8 \text{ кпк} \times 2^m/\text{кпк}$), т. е. в $2,512^{16} = 2,5$ млн раз. Именно поэтому мы не видим в оптических лучах центральную область нашей Галактики.

Межзвёздное поглощение света носит селективный характер, т. е. его величина зависит от длины волны (цвета) излучения: чем она меньше, тем сильнее поглощение. Поэтому голубые лучи поглощаются сильнее красных, и звёзды, наблюдаемые сквозь облака межзвёздной пыли, выглядят краснее, чем на самом деле. Это явление называют межзвёздным покраснением света.

МЕЖЗВЁЗДНОЕ ПОКРАСНЕНИЕ — изменение цвета звёзд и других галактических и внегалактических объектов, связанное с селективным характером межзвёздного поглощения света. Излучение с малой длиной волны поглощается значительно сильнее, чем с большой, поэтому в свете, дошедшем до наблюдателя, преобладает излучение красного цвета. Межзвёздное покраснение никак не связано с красным смещением спектральных линий, вызванным движением объекта вдоль луча зрения (эффект Доплера). Межзвёздное покраснение изменяет общее распределение энергии в спектре, не затрагивая положение спектральных линий.

МЕЖЗВЁЗДНЫЙ ГАЗ — чрезвычайно разреженный газ, заполняющий пространство между звёздами; основной компонент межзвёздной среды. По количеству атомов на 90% состоит из водорода и на 10% из гелия с небольшой примесью более сложных элементов. В зависимости от температуры и плотности газ в разных областях пространства пребывает в молекулярном, атомарном или ионизованном состоянии. Вокруг горячих звёзд или недавно взорвавшихся сверхновых он нагрет до тысяч кельвинов и полностью ионизован (плазма). Вдали от горячих звёзд газ частично ионизован рассеянным ультрафиолетовым излучением и энергичными частицами космических лучей. Большая его часть заключена в облаках нейтрального (атомарного) и молекулярного водорода, движущихся вблизи плоскости Галактики по почти круговым орбитам вокруг галактического центра.

В составе межзвёздной среды около 99% массы приходится на межзвёздный газ. Однако в целом в состав нашей Галактики межзвёздный газ, как и вся межзвёздная среда, вносят незначительную долю. Полная масса Галактики в пределах 100 кпк от центра с учётом тёмной материи составляет около $10^{12} M_{\odot}$; полная масса звёзд, в которых заключено почти всё обычное вещество, составляет около $10^{11} M_{\odot}$, а полная масса межзвёздного газа — около $4 \cdot 10^9 M_{\odot}$. Отсюда видно, что межзвёздный газ составляет около 4% обычного вещества Галактики и лишь около 0,4% её полной массы.

Однако вклад межзвёздного газа в пространственную плотность вещества очень сильно меняется от места к месту. Так, вблизи галактической плоскости, где в основном и сосредоточен межзвёздный газ, средняя пространственная плотность наблюдаемых звёзд (ρ_s) и межзвёздного газа (ρ_g) практически одинакова: $\rho_s \approx \rho_g \approx 0,05 M_{\odot}/\text{пк}^3 = 3,4 \cdot 10^{-24} \text{ г}/\text{см}^3 = 2 \text{ н}/\text{см}^3$, т. е. на 1 см^3 пространства в среднем приходится 2 атома водорода звёздного и столько же межзвёздного вещества. Более того, значительная часть газа объединена в облака, имеющие среднюю плотность порядка $500 \text{ н}/\text{см}^3$ — в сотни раз больше средней плотности звёзд в тех же областях пространства.

Межзвёздный газ весьма равномерно перемешан с межзвёздной пылью, которая часто своим поглощением или рассеянием света делает газово-пылевые структуры наблюдаемыми (в виде тёмных туманностей). Диапазон изменения основных параметров межзвёздного газа очень широк. Температура межзвёздного газа колеблется от 4–6 К до 10^6 К (а в межзвёздных ударных волнах ионная температура газа иногда превышает 10^9 К), концентрация изменяется от 10^{-4} – 10^{-3} до 10^8 – 10^{12} частиц в 1 см^3 . Для излучения межзвёздного газа характерен широкий диапазон: от длинных радиоволн до жёсткого γ -излучения.

Существуют области, где межзвёздный газ находится преимущественно в молекулярном состоянии (молекулярные облака) — это наиболее плотные и холодные его части. Есть области, где межзвёздный газ состоит главным образом из нейтральных атомов водорода (области HI, читается «аш один») — это менее плотные и в среднем более тёплые области. Существуют области ионизованного водорода (зоны HII, читается «аш два»), которыми являются светлые эмиссионные туманности вокруг горячих звёзд и области разреженного горячего газа (корональный газ).

Как и вещество звёзд, межзвёздный газ в основном состоит из водорода и гелия с небольшой добавкой других элементов. В среднем атомы водорода составляют в нём около 90% всех атомов (70% по массе). На атомы гелия приходится около 10%

числа атомов (28% по массе). Остальные 2% массы составляют все последующие химические элементы, которые астрономы называют «тяжёлыми элементами». Из них наиболее обильны O, C, N, Ne, S, Ar, Fe. Все они вместе составляют приблизительно $1/1000$ от числа атомов межзвёздного газа. Но их роль в процессах, протекающих в этом газе, очень велика. По сравнению с составом Солнца в межзвёздном газе наблюдается дефицит ряда тяжёлых элементов, особенно Al, Ca, Ti, Fe, Ni, — их в десятки и сотни раз меньше, чем на Солнце. В разных участках межзвёздной среды уровень дефицита неодинаков. Возникновение дефицита связано с тем, что значительная часть указанных элементов входит в состав пылинок и почти отсутствует в газообразной фазе.

Межзвёздный газ присутствует в галактиках всех типов, но в разном количестве и имеет характерное для каждого типа пространственное распределение и движение. В эллиптических галактиках (Е-галактиках) газа обычно очень мало, $\leq 0,1\%$ массы галактики в пределах её видимого тела, в спиральных (S-галактиках) $\approx 1\text{--}10\%$, а в большинстве неправильных (Ir-галактиках) — более 10%. Здесь приведены массы атомарного водорода. Если учитывать молекулярный водород, то цифры должны быть увеличены примерно вдвое. Как уже было сказано, в Галактике полная масса межзвёздного газа $\approx 4 \cdot 10^9 M_{\odot}$, из которых на атомарный газ приходится $2 \cdot 10^9 M_{\odot}$; масса ионизованного газа невелика. От полной массы Галактики в пределах её видимого тела ($R < 16$ кпк) масса межзвёздного газа составляет около 2%.

В Е-галактиках межзвёздный газ встречается в заметном количестве лишь в гигантских объектах этого типа, преимущественно в их центрах. В галактиках других типов также есть газ в центрах, но основная его масса сосредоточена в галактических дисках. В среднем толщина диска межзвёздного газа в Ir-галактиках больше, чем в S-галактиках. В крупных S-галактиках газ обычно прослеживается по крайней мере до расстояний 20–30 кпк от их центра, где в оптическом диапазоне галактика практически не видна. В S- и Ir-галактиках газ вращается вокруг галактического центра вме-

сте со звёздами диска. В Е-галактиках газ движется преимущественно радиально.

Межзвёздный газ в Галактике. Распределение газа в диске Галактики, как и в других спиральных галактиках, характеризуется наличием максимума концентрации газа на расстоянии нескольких килопарсеков от галактического центра. В Галактике максимум расположен на расстоянии ≈ 5 кпк от центра, в других S-галактиках — на расстоянии $\approx 5\text{--}8$ кпк. В области максимума характерная толщина газового слоя Галактики $\approx 200\text{--}300$ пк. Она уменьшается с приближением к центру и резко увеличивается на периферии, достигая нескольких килопарсеков на расстоянии 15–20 кпк от центра. Внешние части газового диска Галактики изогнуты.

В диске основная часть газа сосредоточена в спиральных ветвях. В пространстве между ними плотность газа много меньше средней. В ветвях газ распределён также крайне неравномерно. Значительная часть его собрана в обширные газово-пылевые комплексы — клочковатые образования размером во многие десятки и сотни парсеков, состоящие в основном из молекулярного водорода. С газово-пылевыми комплексами связаны области звёздообразования, а следовательно, и молодые массивные яркие звёзды. В спиральных ветвях (рукавах) находятся также межзвёздные облака атомарного водорода и молекулярные облака. Около половины массы газа содержится в гигантских молекулярных облаках со средней массой $\sim 10^5 M_{\odot}$ и диаметром около 40 пк. Большинство из них расположено в кольце галактического диска между 3 и 7 кпк от центра Галактики. Количество их достигает 6000. Наряду с этими структурами около половины объёма рукавов составляют широкие коридоры очень разреженного горячего сильно ионизованного газа с температурой около 10^6 К и концентрацией частиц $\sim 10^{-2}\text{--}10^{-3}$ см $^{-3}$. Один из таких коридоров расположен вблизи Солнечной системы. Разреженный горячий газ находится также в остатках вспышек сверхновых звёзд и в так называемых межзвёздных «пузырях», окружающих группы молодых массивных звёзд.

Вне галактического диска межзвёздного газа очень мало. В основной части гало Галактики газ, по-видимому, горячий ($\sim 10^5$ K) и очень разреженный ($\approx 3 \cdot 10^{-4}$ см $^{-3}$ на высоте 5 кпк над плоскостью симметрии диска). Наиболее заметны самые плотные газовые образования гало — планетарные туманности. Кроме того, на высоких галактических широтах обнаружены высокоширотные и высокоскоростные облака водорода.

Методы наблюдения межзвёздного газа. Сильная разреженность межзвёздного газа и широкий диапазон температур, при которых он может находиться, определяют разнообразие методов его исследования. Наиболее доступны для наблюдения газовые и газопылевые светлые туманности. По оптическим и в меньшей степени ИК-спектрам излучения эмиссионных туманностей удалось установить плотность, температуру, состав и состояние ионизации вещества зон III. Богатую информацию о газе в эмиссионных туманностях получают по рекомбинационным радиолиниям водорода, гелия и других элементов, а также по непрерывному радиоизлучению.

Состояние межзвёздного газа вне туманностей исследуют по межзвёздным оптическим и УФ-линиям поглощения в спектрах звёзд. По ним удалось установить, что этот газ состоит из отдельных облаков, а вещество в них находится преимущественно в нейтральном атомарном состоянии. По линиям поглощения в оптическом диапазоне были открыты (1938) первые молекулы в межзвёздной среде. Линии поглощения большинства атомов, ионов и молекул лежат в УФ-области спектра. Внеатмосферные наблюдения позволили изучить пространственность элементов и ионизационное состояние газа и обнаружить в нём дефицит ряда тяжёлых элементов. По линиям поглощения ионов NV (1238 Å и 1242 Å) и OVI (1032 Å и 1038 Å) были обнаружены коридоры горячего газа. По радиолинии водорода 21 см изучают крупномасштабную и тонкую структуру областей HI в Галактике и других галактиках, плотность и температуру межзвёздных облаков, их строение, движение, а также вращение вокруг центров галактик.

Исследовать распределение H_2 труднее. Для этого чаще всего пользуются косвенным методом: исследуют пространственное распределение молекулы CO, концентрация которой пропорциональна концентрации молекул H_2 (H_2 примерно в 10^5 раз больше, чем CO). Радиоизлучение молекулы CO с $\lambda = 2,6$ мм практически не поглощается межзвёздной пылью и позволяет изучать распределение молекул CO и H_2 , а также исследовать условия в наиболее холодной и плотной части межзвёздного газа — молекулярных облаках и газопылевых комплексах. Молекулы H_2 непосредственно наблюдаются только по полосам поглощения в далёкой УФ-области спектра (≤ 1108 Å) и в нескольких случаях по ИК-линиям излучения ($\lambda = 2$ мкм и 4 мкм). Но из-за межзвёздного поглощения света пылью этот метод не позволяет исследовать H_2 в плотных непрозрачных молекулярных облаках, где эти молекулы в основном сосредоточены. Отдельные, наиболее плотные, конденсации молекулярного газа, расположенные рядом с сильными источниками возбуждения (например, ИК-звёздами), наблюдаются в виде мощных космических мазеров.

Высокое спектральное разрешение, достигнутое в радиодиапазоне, позволяет изучать молекулы, содержащие различные изотопы, например ^1H и ^2H (дейтерий, D), ^{12}C и ^{13}C , ^{14}N и ^{15}N , ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O и др., т. е. изотопный состав газа и его вариации. Сравнение изотопного состава современного межзвёздного газа с изотопным составом Солнечной системы, образовавшейся из межзвёздной среды около $4,6 \cdot 10^9$ лет назад, позволяет судить об изменениях изотопного состава, связанных с эволюцией межзвёздного газа.

По поглощению рентгеновских лучей в межзвёздном пространстве можно судить о полном количестве межзвёздного вещества, находящегося в атомарном и молекулярном виде, а также в виде пылинок. В дальнейшем по флуоресценции атомов в рентгеновских $K\alpha$ -линиях различных элементов можно будет получить достаточно полную информацию о распространённости элементов в межзвёздном веществе независимо от его состояния. Наиболее горячие участки межзвёздного газа (остатки сверх-

новых и коридоры горячего газа) излучают в рентгеновском диапазоне, что позволяет изучить их пространственное расположение и физические свойства.

Межзвёздная среда излучает также в γ -лучах. Энергичные γ -фотоны (с энергией ≥ 50 МэВ) возникают за счёт того, что при столкновении протонов космических лучей с протонами межзвёздного газа образуются π^0 -мезоны, которые распадаются на два γ -фотона. Вклад $\approx 50\%$ даёт тормозное излучение релятивистских электронов космических лучей при соударениях с ядрами атомов межзвёздного газа. Кроме того, при взаимодействии частиц космических лучей низких энергий с ядрами атомов газа и пыли появляются γ -линии в диапазоне 1–6 МэВ. Сильная линия, с энергией фотонов 0,511 МэВ, может образовываться при аннигиляции позитронов, возникающих при взаимодействии космических лучей с межзвёздным газом.

Степень ионизации межзвёздного газа удастся изучать, измеряя меру дисперсии радиоизлучения пульсаров и в меньшей степени — поворот плоскости поляризации радиоисточников (см. *Фарадеевское вращение*). Состояние газа в непосредственной окрестности Солнечной системы установлено по параметрам межзвёздного ветра, обусловленного движением Солнца относительно межзвёздной среды.

Ещё одним тонким методом исследования межзвёздного газа оказались наблюдения мерцания радиоизлучения пульсаров на мелких неоднородностях межзвёздной плазмы. С его помощью удалось установить, что концентрация электронов n_e в межзвёздном газе флуктуирует слабо. Среднее по лучу зрения значение $\Delta n_e / n_e \approx (1-3) \cdot 10^{-5}$ (здесь Δn_e — отклонение концентрации электронов от среднего значения по лучу зрения). Размеры неоднородностей могут быть различными, но при наблюдениях пульсаров основной вклад в мерцания дают неоднородности размером $\sim 10^{10}-10^{13}$ см, порождённые, по-видимому, плазменной турбулентностью.

Тепловое и ионизационное состояния межзвёздного газа. Разреженность межзвёздного газа приводит к тому, что он про-

зрачен для большинства видов излучения. Поэтому условия в нём очень далеки от термодинамического равновесия. Однако распределение энергии между частицами газа в большинстве случаев (за исключением главным образом ударных волн, где нет неравномерного распределения энергии между электронами и ионами) подчиняется распределению Максвелла, благодаря чему можно говорить о температуре межзвёздного газа.

Для определения равновесных свойств межзвёздного газа (степени ионизации, интенсивности излучения и др.) рассматривается баланс процессов возбуждения ионов, атомов и молекул (соударений, поглощения излучения и др.) и процессов снятия возбуждения (рекомбинаций, испускания фотонов), протекающих в каком-либо выделенном объёме в конечный интервал времени.

Зоны III нагреваются УФ-излучением звёзд, расположенных внутри них (атомы водорода активно поглощают излучение с $\lambda < 912$ Å). Области II и молекулярные облака нагреваются проникающей радиацией: частицами космических лучей низких энергий ($\sim 1-10$ МэВ/нуклон), а также УФ- и мягким рентгеновским излучением. Роль более энергичных фотонов и частиц невелика, так как их меньше и взаимодействуют они с межзвёздным газом слабее. В некоторых местах существенны и другие механизмы нагрева, например ударные волны, возникающие при столкновениях облаков или при вспышках сверхновых.

Охлаждение межзвёздного газа происходит за счёт излучения в спектральных линиях, чаще в ИК- и оптической областях спектра, реже — в УФ и рентгеновском диапазоне или в радиодиапазоне. Излучение в непрерывном спектре играет, как правило, второстепенную роль. В целом механизм охлаждения почти всех областей межзвёздного газа подобен охлаждению зон III, но в областях II повышенную роль в охлаждении играет излучение в ИК-диапазоне, а в холодных молекулярных областях — в радиодиапазоне.

Формирование структуры межзвёздного газа. Анализ, проведённый С. Б. Пикельнером (1967), показал, что уравнение со-

стояния газа в областях HI подобно уравнению состояния Ван-дер-Ваальса для неидеального газа, т. е. давление p в зависимости от плотности ρ имеет минимум и максимум. В областях HI спиральных ветвей Галактики определённому значению давления могут соответствовать три значения концентрации частиц (или плотности) газа. Состояние при среднем значении концентрации неустойчиво, из этого состояния межзвёздный газ за $\sim 10^6$ лет перейдёт в состояние с большей (n_1) или меньшей (n_2) концентрацией. В результате газ разбивается на области с $n_1 \approx 10 \text{ см}^{-3}$ и $n_2 \approx 0,1 \text{ см}^{-3}$, между которыми устанавливается равенство давлений: сгущения с $n_1 \approx 10 \text{ см}^{-3}$ и $T_1 \approx 100 \text{ K}$ (облака) находятся в динамическом равновесии с областями, где $n_2 \approx 0,1 \text{ см}^{-3}$ при температуре $T_2 \approx 10\,000 \text{ K}$. Процесс расслоения межзвёздного газа на две термически устойчивые фазы (как следствие его тепловой неустойчивости) приводит к тому, что в областях HI существуют «холодные» облака и более «горячая» межоблачная среда.

Ещё сильнее на структуру межзвёздного газа в S-галактиках влияют спиральные ударные волны. Они возникают при соударении межзвёздного газа, уже накопленного в спиральных ветвях, с газом, который при круговом движении вокруг центра галактики догоняет спиральные ветви и входит в них со сверхзвуковой скоростью (спиральные ветви обращаются вокруг центра Галактики в ту же сторону, что газ и звёзды, но с меньшей скоростью). На фронте ударной волны набегающий газ тормозится и уплотняется. За счёт повысившегося давления почти весь газ оказывается в плотной фазе. Так образуются газово-пылевые комплексы, наблюдаемые на внутренних сторонах спиральных ветвей.

Газово-пылевые комплексы могут возникать не только под действием спиральных ударных волн, но и вследствие неустойчивости Рэлея – Тейлора газового диска галактик. В результате развития неустойчивости возникают компактные ($\approx 10\text{--}30 \text{ пк}$) газово-пылевые сгустки, становящиеся затем очагами образования звёздных скоплений. В S-галактиках неустойчивость Рэлея – Тейлора играет, вероятно, меньшую роль, чем

спиральные ударные волны, но в Ir-галактиках она, видимо, служит основной причиной образования комплексов межзвёздного газа.

Наблюдения показывают, что межзвёздные облака имеют, помимо упорядоченного движения вокруг центра Галактики, хаотические скорости, в среднем около 10 км/с . В среднем через $30\text{--}100$ млн лет облако сталкивается с другим облаком, что приводит к диссипации (уменьшению) этих случайных движений, частичному слипанию облаков и формированию степенного спектра их масс: $dN/dM \sim M^{-3/2}$. Хаотические движения поддерживаются взрывами сверхновых: сброшенная при взрыве оболочка звезды тормозится в межзвёздном газе и передаёт его облакам часть своего импульса.

Из области пространства, по которой прошла ударная волна, вызванная взрывом сверхновой, почти весь газ оказывается выметенным. Возникшая область разреженного газа (каверна размером в десятки парсеков с $n \sim 10^{-2} \text{ см}^{-3}$ и $T \sim 10^6 \text{ K}$) может существовать $\sim 10^7$ лет. Если за это время поблизости вспыхнет ещё одна сверхновая, то созданная ею каверна, сомкнувшись с предыдущей, может образовать обширный коридор горячего разреженного сильно ионизованного газа. Излучение горячего газа может нагревать до $300\text{--}5000 \text{ K}$ газовые облака, находящиеся на расстоянии многих парсеков от коридоров (существование облаков с такой температурой невозможно в описанной выше простой двухфазной модели межзвёздного газа).

Вспышки сверхновых, «пробурившие» газовый диск галактики насквозь, вызывают отток газа от плоскости галактики в межгалактическую среду и нагрев его там вплоть до $10^7\text{--}10^8 \text{ K}$. В результате в межгалактическую среду попадает обогащённый тяжёлыми элементами газ. Возможно, именно благодаря этим процессам межгалактический газ в скоплениях галактик имеет почти такое же содержание железа, как атмосфера Солнца. Часть газа, видимо, падает назад к галактической плоскости в виде высокоширотных и высокоскоростных облаков.

Процессы, протекающие в газово-пылевых комплексах. Вещество в газово-пы-

левых комплексах достаточно плотно для того, чтобы не пропускать на большую глубину основную часть проникающей радиации. Поэтому газ внутри комплексов оказывается холоднее, чем в межзвёздных облаках, и существует преимущественно в молекулярной форме. Молекулы H_2 и некоторые другие образуются главным образом в ион-молекулярных реакциях, а также на поверхности пылинок. Ионизация, необходимая для протекания ион-молекулярных реакций, поддерживается УФ-излучением звёзд (в областях, где межзвёздное поглощение света $A_V \leq 5-6^m$) и, по-видимому, космическими лучами низкой энергии (< 100 МэВ/нуклон). Те же виды излучения постоянно отрывают налипающие на поверхность пылинок молекулы.

Из-за различия скоростей образования молекул и охлаждения газа за счёт излучения этих молекул (главным образом H_2O и CO) в радиодиапазоне в межзвёздном газе может возникнуть термохимическая неустойчивость, ведущая к выделению внутри молекулярных облаков ещё более плотных и холодных ($T \approx 4-12$ К) сгустков. Совместно с гравитационной неустойчивостью эти процессы в холодных фрагментах молекулярных облаков ведут к возникновению самогравитирующих сгустков газово-пылевого вещества звёздной массы — протозвёзд, из которых потом образуются звёзды.

Таким образом, молекулярные облака должны быстро (за $\sim 10^6$ лет) превратиться в звёзды. Так как они существуют гораздо дольше, должны действовать факторы, замедляющие образование звёзд: например, магнитное давление, турбулентность, нагрев газа возникшими звёздами.

Эволюция межзвёздного газа. Межзвёздный газ постоянно обменивается веществом со звёздами. Согласно оценкам, в настоящее время в Галактике газ переходит в звёзды в количестве $\approx 3 M_\odot$ в год. Одновременно с этим звёзды, главным образом на поздних стадиях эволюции, теряют вещество и пополняют межзвёздную среду. Часть выбрасываемого вещества участвовала в термоядерных реакциях в недрах звёзд и обогатилась там тяжёлыми элементами, поэтому со временем состав межзвёзд-

ного газа изменяется. В разных галактиках и в различных частях каждой галактики эти процессы идут с различными скоростями. В результате в химическом и изотопном составе газа появляются неоднородности, и прежде всего градиент химического состава вдоль радиусов галактик. Ближе к центру галактик межзвёздный газ несколько более обогащён тяжёлыми элементами.

Пока неизвестно, когда и как произошло обогащение первичного газа (имевшего состав $\approx 75\%$ H и 25% He по массе) тяжёлыми элементами: было ли это ещё до образования галактик или в самом начале их эволюции. Но ясно, что на первых этапах истории галактик этот процесс шёл много активнее, чем в настоящее время.

В протогалактиках газ присутствовал не только в галактической плоскости, но и в сферической составляющей. В галактиках с малым удельным моментом импульса (Е-галактиках) газ, не израсходованный на образование звёзд сферической составляющей, постепенно скапливался около их центра, быстро превращался в звёзды и поэтому вскоре почти исчерпался. В настоящее время газ в Е-галактиках, выбрасываемый звёздами, движется вместе с ними по очень вытянутым траекториям. Проходя вблизи галактического центра, он задерживается там, вызывая в некоторых Е-галактиках звёздообразование, а также активность их ядер.

В галактиках с большим удельным моментом импульса за время $\sim 10^9$ лет после их образования газ осел в диск, также обогатившись тяжёлыми элементами. Дальнейшее звёздообразование шло в диске. В S-галактиках звёздообразование в диске стимулируется спиральной ударной волной. При каждом прохождении сквозь спиральную ударную волну элементы газа тормозятся, теряют энергию и с каждым оборотом приближаются к центру галактики.

В Ir-галактиках спиральные волны не сформировались, газ исчерпывался медленно. Поэтому в настоящее время они наиболее богаты газом (среднее содержание атомарного водорода $\approx 18\%$ от массы галактики). В линзовидных (SO) галактиках основная часть газа была, вероятно, выметена в межгалактическое пространство при взаи-

модействии их с другими галактиками, а оставшегося газа оказалось недостаточно для активного звёздообразования.

Итак, в процессе эволюции галактик происходит круговорот вещества: межзвёздный газ → звёзды → межзвёздный газ, что ведёт к постепенному увеличению содержания тяжёлых элементов в газе и звёздах и уменьшению количества межзвёздного газа в каждой галактике. В разных типах галактик быстрота исчерпания межзвёздного газа существенно различается. Возможно, процессы формирования звёзд и обогащения газа тяжёлыми элементами шли в Галактике немонотонно, т. е. несколько раз в её истории могли происходить задержки звёздообразования на миллиарды лет. Это в принципе должно было бы сказаться на распределённости элементов в различных типах звёздного населения.

МЕЖПЛАНЕТНАЯ СРЕДА — вещество и поля, заполняющие пространство внутри Солнечной системы. Основные компоненты межпланетной среды — солнечный ветер, межпланетное магнитное поле, заряженные частицы высокой энергии, межпланетная пыль и нейтральный газ. Солнечный ветер — это поток заряженных частиц, главным образом протонов и электронов, истекающий из верхних частей солнечной короны. На орбите Земли поток протонов солнечного ветра меняется от 10^8 до 10^{10} см⁻² с⁻¹, а скорость — от 200 до 900 км/с. При увеличении расстояния от Солнца (R) поток протонов убывает как $1/R^2$, а скорость остаётся почти постоянной.

Межпланетное магнитное поле представляет собой унесённое солнечным ветром магнитное поле Солнца. Так проявляется эффект «вмороженности» силовых магнитных линий в проводящую среду — солнечную плазму. Напряжённость магнитного поля на орбите Земли меняется от $2 \cdot 10^{-5}$ до $8 \cdot 10^{-4}$ Э. Наибольших значений она достигает у переднего края высокоскоростных потоков солнечного ветра. При удалении от Солнца напряжённость магнитного поля падает чуть быстрее, чем $1/R$. Важной особенностью магнитного поля является его секторная структура. В течение большей части солнечного цикла (за исключением ко-

роткого периода сразу после максимума) в пространстве выделяются 2, 4 или (реже) 6 секторов. Внутри каждого сектора радиальная составляющая поля направлена либо к Солнцу, либо от Солнца, причём в соседних секторах направления поля противоположны. Вдали от плоскости солнечного экватора секторная структура пропадает и направление вектора межпланетного магнитного поля определяется полярностью магнитного поля на высоких гелиографических широтах в фотосфере Солнца.

Заряженные частицы высокой энергии, присутствующие в межпланетном пространстве, исследуются как с помощью непосредственных измерений в межпланетном пространстве, так и наземными средствами. По своему происхождению они делятся на несколько классов: галактические и солнечные космические лучи; рекуррентные (повторяющиеся) потоки; заряженные частицы, ускоренные в магнитосферах планет; аномальный компонент космических лучей.

Галактические космические лучи проникают в Солнечную систему извне. В их состав входят в основном протоны, электроны и ядра лёгких элементов. При движении внутри гелиосферы космические лучи рассеиваются на неоднородностях межпланетного магнитного поля. Так как уровень флуктуаций магнитного поля зависит от солнечной активности, поток галактических космических лучей в Солнечной системе меняется с периодом ≈ 11 лет. Для протонов на расстоянии 1 а. е. от Солнца этот эффект заметен при энергиях 0,1–10 ГэВ. Протоны с энергией меньше 0,1 ГэВ до орбиты Земли практически не доходят. В минимуме солнечной активности поток галактических космических лучей у орбиты Земли равен $\approx 0,06$ частиц/(см²·с·ср). На больших расстояниях от Солнца влияние межпланетного магнитного поля на распространение космических лучей уменьшается и поток частиц растёт на 2–5% при увеличении расстояния на 1 а. е.

Солнечные космические лучи возникают во время вспышек на Солнце. В мощных протонных вспышках испускаются протоны с энергией 10–100 МэВ (в исключительных случаях до 15 ГэВ) и нерелятивистские

электроны с энергией от 40 кэВ и выше. Кроме того, в некоторых случаях регистрируются релятивистские электроны с энергией до 12 МэВ.

Из магнитосфер планет наиболее мощный источник заряженных частиц — магнитосфера Юпитера. Как вблизи Юпитера, так и вдали от него, на расстояниях от 0,5 до 10 а. е. от Солнца, наблюдаются «вспышки», длящиеся несколько дней, во время которых регистрируются электроны с энергиями до 30 МэВ. Связь этих процессов с Юпитером проявляется в модуляции потока электронов с периодом 10 ч, совпадающим с периодом вращения Юпитера. При наблюдениях вблизи Земли заметна также модуляция интенсивности и частоты этих «вспышек» с периодом 13 месяцев (синодический период обращения Юпитера).

В космических лучах выделяют компонент, содержащий частично ионизованные атомы гелия, кислорода, азота и неона. Его называют аномальным, так как образующие его атомы сильно отличаются от полностью лишённых электронных оболочек ядер, входящих в состав солнечных и галактических космических лучей. В этом компоненте наблюдаются частицы с удельной энергией 1–100 МэВ/нуклон, их поток растёт при удалении от Солнца и от плоскости солнечного экватора. Предполагается, что частицы аномального компонента приобретают высокую энергию на границе гелиосферы, в области взаимодействия солнечного ветра с межзвёздной плазмой.

Межпланетная пыль ранее других компонентов межпланетной среды подверглась изучению. Первым источником сведений о ней были наблюдения метеоров, возникающих в результате влёта пылинок в атмосферу Земли. Метеоры изучаются визуальными, фотографическими (для пылинок с массой $m \geq 0,01$ г) и радиолокационными ($m \geq 10^{-4}$ г) методами, а также наблюдением солнечного света, рассеянного на пылинках размером 10–100 мкм (зодиакальный свет, противосияние и F-компонент солнечной короны). Важные источники информации о межпланетной пыли — прямая регистрация пылевых частиц межпланетными зондами и исследование микрократеров на поверхности

Луны. Кроме того, пробы межпланетной пыли берут в стратосфере Земли, в глубоководных отложениях и в полярных льдах. Регистрируется также тепловое излучение пыли, находящейся как вблизи Солнца (Т-компонент короны), так и вдали от него.

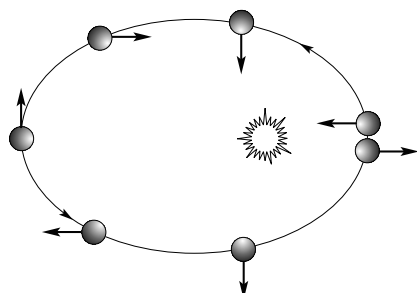
Основным источником межпланетной пыли служат кометы. Общая масса пыли в Солнечной системе оценивается в 10^{19} – 10^{20} г. Большая её часть сосредоточена в частицах массой 10^{-5} – 10^{-3} г. При удалении от Солнца плотность пылевого облака быстро падает, и на расстояниях ≥ 3 а. е. пыль практически отсутствует. Облако межпланетной пыли сильно концентрируется к плоскости эклиптики.

МЕНИСКОВЫЙ ТЕЛЕСКОП — то же, что телескоп Максутава.

МЕРИДИАН — большой круг, проходящий через северный и южный полюсы небесной сферы. Меридиан, проходящий через зенит наблюдателя, называется небесным меридианом. Небесный меридиан делит видимую небесную сферу на западную и восточную полусферы. Часовой угол объекта измеряется к западу от небесного меридиана. Большой круг на поверхности Земли — географический меридиан — это линия постоянных географических долгот.

МЕРКУРИЙ — планета Солнечной системы, ближайшая к Солнцу, удалённая от него на 57,9 млн км = 0,387 а. е. Спутников не имеет. Масса Меркурия $3,302 \cdot 10^{23}$ кг (5,5% от массы Земли). Радиус 2440 км (38% от радиуса Земли). Средняя плотность 5,43 г/см³. Меркурий практически лишён атмосферы. Температура поверхности ночью –180 °С, а днём от 290 до 420 °С в зависимости от положения планеты на её вытянутой орбите. Наибольшая элонгация составляет от 18° до 28° в зависимости от положения Земли относительно большой оси орбиты Меркурия. Период осевого вращения Меркурия (58,65 сут) находится в точном соотношении 2: 3 с периодом обращения вокруг Солнца (87,97 сут). Поэтому за свой год планета совершает полтора оборота вокруг оси, так что меркурианские солнечные сутки там длятся вдвое дольше меркурианского года.

На Меркурии не существует таких времён года, как на Земле. Причина в том, что



Меркурий. Синхронизация суточного вращения и орбитального обращения

ось вращения планеты находится под прямым углом к плоскости орбиты. Комбинация движений планеты порождает ещё одно уникальное явление. Скорость вращения планеты вокруг оси практически постоянна, в то время как скорость орбитального движения непрерывно изменяется. На участке орбиты вблизи перигелия (ближайшей к Солнцу точке орбиты) в течение примерно 8 земных суток угловая скорость орбитального движения превышает скорость вращательного движения. В результате Солнце на небе Меркурия останавливается и начинает двигаться в обратном направлении — с запада на восток. Для наблюдателя на долготях, отстоящих на 90° от «горячих долгот», Солнце при этом восходит (или заходит) дважды.

МЕРЦАНИЕ — хаотическое изменение блеска и цвета звезды, вызванное преломлением и дифракцией её света на неоднородностях плотности воздуха в атмосфере Земли. Мерцание звёзд легко заметить невооружённым глазом, но при наблюдении в средние и большие телескопы оно исчезает, поскольку флуктуации яркости усредняются по площади апертуры (т. е. объектива) телескопа. При этом яркость изображения звезды заметно не меняется, но само изображение размывается, превращаясь в крупное диффузное пятно. В такой форме этот эффект обычно называют атмосферным размыванием. Он ухудшает качество изображений в крупных наземных телескопах и ограничивает их разрешающую силу.

В радиоастрономии мерцанием космических источников излучения называют нерегулярное изменение интенсивности их излучения из-за его рассеяния на неоднородностях межзвёздной и межпланетной плазмы.

родностях межзвёздной и межпланетной плазмы.

МЕСТНАЯ ГРУППА ГАЛАКТИК — система из более чем 80 ближайших галактик, в которую входит и Млечный Путь. Её члены движутся друг относительно друга, но при этом связаны взаимным тяготением и поэтому длительное время занимают ограниченное пространство диаметром около 8 млн св. лет (около 2,5 Мпк) и существуют отдельно от других подобных групп галактик. Считается, что все члены Местной группы имеют общее происхождение и эволюционируют совместно уже около 13 млрд лет. Галактики Местной группы представляют для астрономии особый интерес, поскольку многие из них, во-первых, могут быть детально изучены, а во-вторых, заметно влияют на нашу галактику и сами испытывают её влияние. Местная группа, как и другие соседние с ней группы галактик и более населённые скопления галактик, входит в грандиозное объединение — Местное сверхскопление галактик. Это уплощённая система диаметром около 100 млн и толщиной около 35 млн св. лет. Её центром служит крупное скопление галактик в Деве, удалённое от нас на 50 млн св. лет.

Американский астроном Эдвин Хаббл первым обратил внимание, что наша Галактика вместе с несколькими соседними звёздными системами образует довольно обособленную группу, которую он назвал Местной группой галактик. В книге «Мир туманностей» (1936) Хаббл писал, что это «типичная небольшая группа туманностей, изолированная в общем поле от остальных звёздных систем». Его вывод подтвердили современные исследования: в Местную группу входит не менее 80 галактик различного морфологического типа. Доминируют в ней две крупные спиральные системы — Туманность Андромеды (M31, NGC 224) и наша галактика Млечный Путь (обычно её называют просто «Галактика»), расстояние между которыми около 2,5 млн св. лет. Галактика в Андромеде немного крупнее и приблизительно в 1,5 раза массивнее нашей.

Среди прочих членов Местной группы своей массой и светимостью выделяются два — небольшая спираль в Треугольнике

ке (М33) и неправильная галактика Большое Магелланово Облако (БМО). За ними в порядке уменьшения светимости следуют неправильные галактики Малое Магелланово Облако (ММО), IC 10, NGC 6822, IC 1613 и WLM, а также два сфероидальных спутника Туманности Андромеды – М32 и NGC 205. Остальные галактики заметно мельче. Половина массы Местной группы заключена в сфере радиусом около 1 млн св. лет, а граница группы удалена от её центра примерно на 3 млн св. лет. Вблизи этой границы расположены три маленькие системы – Aquarius, Tucana и Sag DIG, принадлежность которых к Местной группе пока остаётся под вопросом. Отметим, что не только эти, но и многие другие галактики Местной группы носят имена тех созвездий, в которых они наблюдаются: Fornax, Draco, Sculptor, Leo I, Leo II и т. д. Большинство из них имеет и другие обозначения по различным каталогам галактик, но обычно астрономы называют их именно так – галактика в Печи (Fornax), система в Драконе (Draco) и т. п.

В пределах Местного скопления маленькие галактики распределены не вполне хаотично: многие из них тяготеют к большим галактикам – Млечному Пути и Туманности Андромеды. Эти две часто называют «родительскими», хотя генетическая связь между большими и маленькими галактиками ещё не до конца ясна; не исключено, что именно маленькие звёздные системы служат предками для более крупных. Но в данном случае играет роль бытовая ассоциация: большая галактика окружена более мелкими, как детьми. Например, нашу Галактику сопровождают довольно крупные Магеллановы Облака и несколько малых систем – Fornax, Draco, Sculptor, Sextans, Carina и др.; в последние годы регулярно обнаруживаются новые мелкие спутники Галактики. В свиту Туманности Андромеды входят весьма крупные Мессье 32 и NGC 205, а также небольшие NGC 147, NGC 185, And I, And II, And III и др. Это не является особенностью Местной группы: в мире галактик небольшие спутники часто сопровождают крупного «руководителя». Такие коллективы размером около 1 млн св. лет принято называть гипергалактиками. Поэтому мож-

Главные галактики Местной группы

Галактика	Тип	Расстояние, млн св. лет	Видимые параметры		Абсолютные параметры	
			Угловой диаметр	Звёздная величина в фильтре V	Диаметр, тыс. св. лет	Светимость, $10^9 L_{\odot}$
Млечный Путь	SBbc	—	—	—	80?	14,5?
БМО	Ir III	0,15	12°	0,4	31	2,75
ММО	Ir IV	0,18	4°	2,0	13	0,52
М31	Sb	2,5	3°	3,4	110	22,9
М32	E2	2,5	4'	8,1	2	0,21
NGC 205	Sph	2,5	11'	8,1	6	0,27
М33	Sc	2,2	1°	5,9	38	3,63
NGC 6822	Ir IV	1,8	20'	8,5	7	0,11
IC 1613	Ir V	2,1	20'	9,1	10	0,076
Печь	dSph	0,75	50'	7,3	11	0,019
Скульптор	dSph	0,35	45'	8,8	5	0,004

но сказать, что основными компонентами Местной группы служат две гипергалактики – Млечный Путь и Туманность Андромеды.

Третья по размеру и массе галактика Местной группы – спираль М33 в созвездии Треугольника. По-видимому, она не имеет спутников, хотя некоторые небольшие галактики расположены в проекции на небо ближе к М33, чем к М31. Однако Туманность Андромеды (М31) гораздо массивнее, чем Спираль Треугольника (М33), поэтому даже далёкие спутники М31 следуют за ней, а не за её менее массивной соседкой. Единственным возможным спутником галактики М33 сейчас считают карликовую неправильную галактику LGS3 в созвездии Рыбы.

Население Местной группы не очень разнообразно: в нём представлены спиральные, неправильные и карликовые галактики, что типично для таких небольших и не очень плотных коллективов. В Местной группе отсутствуют крупные эллиптические галактики, которые можно найти в более богатых скоплениях. Единственная настоящая эллиптическая галактика – М32, близкий спутник Туманности Андромеды. Остальные сфероидальные (тип Sph) и кар-

ликовые сфероидальные (dSph) галактики не являются настоящими эллиптическими системами, поскольку они не очень плотны, слабо концентрированы к центру, содержат межзвёздный газ и молодые звёзды.

Ближайшие соседи Местной группы — такие же небольшие скопления галактик. Одно из них, наблюдаемое в направлении созвездий Насос и Секстант, удалено от центра Местной группы на 5,5 млн св. лет. Группа небольших галактик в Скульпторе удалена на 8 млн св. лет, а другая известная группа, включающая крупную спираль M81 и взаимодействующую с ней галактику с интенсивным звёздообразованием M82, удалена на 11 млн св. лет. Членов группы Насоса — Секстанта из-за их близости к нам одно время причисляли к Местной группе галактик, но, изучив движение её главных членов — небольших галактик NGC 3109, Насос, Секстант А и Секстант В, — специалисты заключили, что это самостоятельная группа, медленно удаляющаяся от Местной группы.

Подгруппа Млечного Пути. Находясь в недрах своей галактики, в окружении облаков межзвёздного газа и пыли, мы пока не можем точно представить её внешний вид и даже обнаружить всех её соседей, особенно тех, которые скрыты за полосой Млечного Пути. Некоторые из спутников Галактики были найдены лишь недавно с помощью инфракрасных телескопов, поскольку длинноволновое излучение звёзд легче проходит сквозь межзвёздную пыль.

Изучению нашей галактики очень помогает её сравнение с близкой и подобной ей спиралью в Андромеде. Правда, у нашей галактики диск не такой симметричный, как у Туманности Андромеды: спиральные рукава Млечного Пути более «ветвистые» и «лохматые», и выходят они не из центра галактики, как у Андромеды, а от концов небольшого бара, пересекающего ядро Галактики. К тому же у нашей звёздной системы менее массивное гало и соответственно меньше шаровых скоплений: пока обнаружено 160, а всего их не более 200; в Туманности Андромеды шаровых скоплений не менее 400. Зато в диске нашей галактики происходит более интенсивный процесс звёздообразования: молодые светила формируются в не-

сколько раз чаще, чем в Туманности Андромеды.

Некоторые спутники Галактики находятся в пределах её гало: диск Галактики имеет радиус около 40 тыс. св. лет, но сферическое гало тянется значительно дальше — до расстояния около 400 тыс. св. лет. Именно в этом объёме распределены шаровые скопления, типичные представители населения гало. А самые заметные жители гало — массивные Магеллановы Облака. Вероятно, в прошлом они были дальше от центра Галактики и составляли связанную пару, но постепенно приближаются к центру Галактики, теряют связь друг с другом и вещество из своих внешних областей: вдоль орбиты за ними тянется «хвост» из потерянных звёзд и газа — Магелланов Поток.

Магеллановы Облака очень богаты газом и молодыми звёздами: хотя их суммарная масса раз в 10 меньше, чем у нашей Галактики, межзвёздного вещества в них почти столько же. Очень крупные области звёздообразования наблюдаются в БМО, причём изучать их там даже легче, чем в запылённом Млечном Пути. В БМО обнаружено много молодых звёздных скоплений с массивными звёздами, а также многочисленные следы взрывов сверхновых звёзд. Единственная сверхновая, наблюдавшаяся в XX в. в пределах Местной группы (SN 1987A), вспыхнула именно в БМО в феврале 1987 г.

По неясной пока причине в БМО около 4 млрд лет назад произошла вспышка звёздообразования. Память о ней сохранилась в виде большого количества звёздных скоплений именно такого возраста. Не исключено, что причиной этого послужило сближение Облаков друг с другом или с Галактикой. Изучение более далёких двойных галактик показало, что их взаимные сближения часто повышают в них интенсивность звёздообразования.

Судьба Магеллановых Облаков представляется вполне ясно: совершив ещё несколько оборотов вокруг Галактики и приблизившись к её центру, они будут разорваны приливными силами и «размазаны» вдоль орбиты. Их звёзды и звёздные скопления войдут в состав Галактики, но ещё долго будут двигаться широким потоком, напоминая

щим об их взаимной генетической связи. Несколько таких потоков уже обнаружено в гало Галактики. Вероятно, это остатки ранее поглощённых спутников, подобных Магеллановым Облакам или менее крупных.

Подгруппа Туманности Андромеды.

К сожалению, диск Туманности Андромеды повёрнут к нам почти ребром: луч нашего зрения составляет с плоскостью диска угол всего в 15° . Поэтому изучать структуру спиральных рукавов Андромеды не намного легче, чем структуру Млечного Пути. Впрочем, для астрономов Туманности Андромеды наша Галактика тоже «не подарок»: они видят наш диск под углом всего в 21° .

Как наиболее крупный член Местной группы, Туманность Андромеды окружена большой свитой спутников. Вместе с ними и спиралью М33 она образует подгруппу звёздных островов, занимающую созвездия Андромеды, Кассиопеи, Треугольника и Рыб. Известный астроном Харлоу Шепли называл эту область «Архипелагом Андромеды».

Подобно тому как Магеллановы Облака тесно соседствуют с нашей Галактикой, крупнейшие спутники Андромеды расположены очень близко к её центру. Правда, сами они совсем не похожи на богатые газом и молодыми звёздами Магеллановы Облака: это сфероидальные галактики, почти не содержащие межзвёздного вещества. Среди них выделяется эллиптическая галактика М32, компактная и очень плотная, с довольно массивным ядром. Она обращается близко от Туманности Андромеды, и сильное гравитационное влияние последней уже «ободрало» наружные части этого спутника, а через несколько миллиардов лет приведёт к его окончательному разрушению.

Немного дальше от спирального хозяина движется вытянутый сфероид NGC 205. Он также испытывает приливное влияние массивной Андромеды: внешние его части заметно искривлены. В NGC 205 есть несколько шаровых скоплений, немного межзвёздного газа и относительно молодых звёзд. Приблизительно таковы же, хотя и менее массивны, два более далёких спутника Андромеды — NGC 147 и NGC 185. Видимо, они образуют двойную систему и вместе образуются вокруг спирального хозяина.

В 2003 г. у Туманности Андромеды был обнаружен новый спутник (And VIII), наблюдаемый на фоне её диска, приблизительно там же, где галактика М32. Его сложно заметить на обычных фотографиях, так как он уже сильно разрушен приливным влиянием главной галактики. Он вытянут почти на 10 кпк в длину при ширине всего в несколько килопарсеков. Его светимость около 200 млн $M_\odot$; в нём замечено несколько планетарных туманностей и шаровых скоплений, а также около 400 тыс. $M_\odot$ нейтрального водорода. Такого рода открытия доказывают, что состав Местной группы галактик описан ещё не до конца.

По данным разных авторов, полная масса Местной группы галактик составляет от $1,2 \cdot 10^{12}$ до $2,3 \cdot 10^{12} M_\odot$. В любом случае это в несколько раз больше, чем дают прямые подсчёты массы, заключённой в наблюдаемых звёздах и межзвёздной среде. Следовательно, в Местной группе есть невидимое вещество, в основном сосредоточенное в протяжённых гало Галактики и Туманности Андромеды.

МЕСТНЫЙ СТАНДАРТ ПОКОЯ (Local Standard of Rest, LSR) — мнимая точка, располагающаяся в галактической плоскости в окрестности Солнца и движущаяся с круговой скоростью вокруг центра Галактики. Она удалена от центра Галактики на расстояние $R_0 \approx 8$ кпк и движется по круговой орбите в направлении часовой стрелки (если смотреть со стороны северного полюса Галактики) со скоростью $V_0 \approx 220$ км/с. Определённый таким образом местный стандарт покоя иногда называют «динамическим».

Само Солнце движется не совсем в плоскости Галактики и не точно по круговой орбите, хотя и по слабоэллиптической (эксцентриситет $e < 0,1$). Относительно местного стандарта покоя скорость Солнца, по данным В. Денен, Дж. Бинни и Р. Шенрих (2010), составляет $v_0 = 18,0$ км/с. В прямоугольной системе координат компоненты этой скорости равны

$$U_\odot = 11,1 \pm 0,7 \text{ км/с,}$$

$$V_\odot = 12,2 \pm 0,5 \text{ км/с,}$$

$$W_\odot = 7,2 \pm 0,4 \text{ км/с,}$$

где компонент U направлен к центру Галак-

тики, V — в направлении вращения галактического диска, W — к северному полюсу Галактики. Это движение Солнца по отношению к местному стандарту покоя обычно называют пекулярным движением Солнца.

Изредка можно встретить понятие «кинематический местный стандарт покоя», которым, как правило, пользуются наблюдатели. Фактически это центроид (геометрический центр) звёзд определённого типа, занесённых в некоторый каталог, например в каталог собственных движений и лучевых скоростей ближайших звёзд. Движение Солнца относительно определённого кинематического местного стандарта покоя чаще называют движением Солнца к апексу. «Стандартное движение Солнца» определяется по средней скорости окружающих звёзд спектральных классов от А до G независимо от класса светимости (т. е. как близких карликов, так и весьма далёких гигантов). Его скорость составляет около 20 км/с в направлении «стандартного апекса» ($\alpha = 18^h$, $\delta = +30^\circ$ в эпоху 1900.0; галактические координаты $\lambda = 56^\circ$, $\beta = 23^\circ$). По близким звёздам определяют «основное движение Солнца», которое составляет 15,4 км/с в направлении $\alpha = 267,4^\circ$, $\delta = +25^\circ$ (эпоха 1950.0); $\lambda = 50^\circ$, $\beta = 24^\circ$.

МЕСЯЦ — промежуток времени, близкий к периоду обращения Луны вокруг Земли. В солнечных календарях год делят на календарные месяцы разной продолжительности: в григорианском календаре год состоит из 12 месяцев продолжительностью от 28 до 31 суток, не согласованных с фазами Луны.

Синодический месяц — период смены лунных фаз, который, в частности, служит основанием лунных календарей. В среднем равен 29 сут 12 час 44 мин 02,78 с = 29,5305882 сут, но меняется от 29,25 сут до 29,83 сут вследствие эллиптичности лунной орбиты.

Сидерический (т. е. звёздный) месяц — промежуток времени, за который Луна совершает оборот вокруг Земли и возвращается в ту же точку небесной сферы относительно звёзд; равен периоду вращения Луны (27 сут 07 час 43 мин 11,47 с = 27,321661 сут).

Тропический месяц — период возвращения Луны к той же эклиптической долготе. Это понятие практически не употребляется.

Аномалистический месяц — промежуток времени между последовательными прохождениями Луны через перигей её орбиты (27,5546 сут).

Драконический месяц — промежуток времени между последовательными прохождениями Луны через один и тот же узел её орбиты на эклиптике (27,2122 сут); имеет значение в теории затмений.

МЕТЕОР — светящийся след, остающийся на мгновение после разрушения влетевшего в атмосферу планеты небольшого космического тела. В народе метеоры часто называют «падающими звёздами».

Греческое слово *meteora* означает «атмосферное (или небесное) явление», а *meteoros* — «то, что в верхнем воздухе». Во французском языке и ныне слово «метеор» означает не только «падающую звезду», но и любое кратковременное атмосферное явление, в том числе радугу, гало, молнию, некоторые виды осадков. Однако теперь этим словом обозначают явления, возникающие при попадании в верхние слои атмосферы твёрдых частиц из космоса. В узком смысле метеор — это светящаяся полоса вдоль траектории распадающейся частицы. Однако в обиходе этим словом часто обозначают и саму частицу, хотя по-научному она называется метеороидом. Если часть метеороида достигает поверхности планеты, её называют *метеоритом*. Метеоры чрезвычайно высокой яркости называют болидами, но иногда этим термином обозначают только события, сопровождавшиеся звуковыми явлениями.

Частота появления. В хороших условиях, вдали от городских огней и при отсутствии яркого лунного света, наблюдатель может заметить 5–10 метеоров в час. У большинства метеоров свечение продолжается около секунды и выглядит слабее самых ярких звёзд. После полуночи метеоры появляются чаще, поскольку наблюдатель в это время располагается на передней по ходу орбитального движения стороне Земли, на которую попадает больше частиц. Каждый наблюдатель может видеть метеоры в радиусе около 500 км вокруг себя. Всего же за сутки в атмосфере Земли возникают сотни миллионов метеоров. Полная масса влетающих в атмосферу частиц оценивается в тысячи

тонн в сутки — ничтожная величина по сравнению с массой самой Земли. Измерения с космических аппаратов показывают, что за сутки на Землю попадает также около 100 т микроскопических пылевых частиц, слишком мелких, чтобы вызывать появление видимых метеоров.

Наблюдение метеоров. Визуальные наблюдения дают немало статистических данных о метеорах, но для точного определения их яркости, высоты и скорости полёта необходимы специальные приборы. Уже более века астрономы используют камеры для фотографирования метеорных следов. Вращающаяся заслонка (обтюратор) перед объективом камеры делает след метеора похожим на пунктирную линию, что помогает точно определять интервалы времени. Обычно с помощью этой заслонки делают от 5 до 60 экспозиций в секунду. Если два наблюдателя, разделённые расстоянием в десятки километров, одновременно фотографируют один и тот же метеор, то можно точно определить высоту полёта частицы, длину её следа и — по интервалам времени — скорость полёта.

Начиная с 1940-х гг. астрономы наблюдают метеоры с помощью радаров. Сами космические частицы слишком малы, чтобы их зарегистрировать, но при полёте в атмосфере они оставляют плазменный след, который отражает радиоволны. В отличие от фотографии, радар эффективен не только ночью, но также днём и в облачную погоду и замечает мелкие метеороиды, недоступные фотокамере. Траектория полёта точнее определяется по фотографиям, а радар позволяет точно измерять расстояние и скорость.

Для наблюдения метеоров в недалёком прошлом использовали телевизионную технику, а электронно-оптические преобразователи позволяли регистрировать слабые метеоры. В последнее время для этих целей используют камеры с ПЗС-матрицами. В 1992 г. при записи на видеокамеру спортивных соревнований впервые был зафиксирован полёт яркого боида, закончившийся падением метеора.

Скорость и высота. Скорость, с которой метеороиды влетают в атмосферу, за-

ключена в пределах от 11 до 72 км/с. Первое значение — это скорость, приобретаемая телом только за счёт притяжения Земли. Её обычно называют второй космической скоростью: именно до такой скорости требуется разогнать космический аппарат, чтобы он смог вырваться из гравитационного поля Земли. Метеороид, прибывший из далёких областей Солнечной системы, вследствие притяжения к Солнцу приобретает вблизи земной орбиты скорость 42 км/с. Орбитальная скорость Земли около 30 км/с. Если встреча происходит «в лоб», то их относительная скорость 72 км/с. Любая частица, прилетевшая из межзвёздного пространства, должна иметь ещё большую скорость. Метеор, вызванный такой частицей, был зафиксирован единственный раз 8 января 2014 г.

Высота, на которой метеор начинает светиться или отмечается радаром, зависит от скорости входа частицы. Для быстрых метеороидов эта высота может превышать 110 км, а полностью частица разрушается на высоте около 80 км. У медленных метеороидов это происходит ниже, где больше плотность воздуха. Метеоры, сравнимые по блеску с ярчайшими звёздами, образуются частицами с массой в десятки доли грамма. Более крупные метеороиды обычно разрушаются дольше и достигают малых высот. Они существенно тормозятся из-за трения в атмосфере. Редкие объекты опускаются ниже 40 км. Если метеороид достигает высот 10–30 км, то его скорость становится менее 5 км/с и он может упасть на поверхность в виде метеорита.

Орбиты. Зная скорость метеороида и направление, с которого он подлетел к Земле, астроном может вычислить его орбиту до столкновения. Земля и метеороид сталкиваются в том случае, если их орбиты пересекаются и они одновременно оказываются в этой точке пересечения. Орбиты метеороидов бывают как почти круговыми, так и предельно эллиптическими, уходящими от Солнца дальше планетных орбит.

Если метеороид приближается к Земле медленно, значит, он движется вокруг Солнца в том же направлении, что и Земля: против часовой стрелки, если смотреть с се-

верного полюса орбиты. Большинство орбит метеороидов выходит за пределы земной орбиты, и их плоскости наклонены к эклиптике не очень сильно. Падение почти всех метеоритов связано с метеороидами, имевшими скорости менее 25 км/с; их орбиты полностью лежат внутри орбиты Юпитера. Большую часть времени эти объекты проводят между орбитами Юпитера и Марса, в Главном поясе астероидов. Поэтому считается, что астероиды служат источником метеоритов. К сожалению, мы можем наблюдать только те метеороиды, которые пересекают орбиту Земли; очевидно, эта группа недостаточно полно представляет все малые тела Солнечной системы.

Болиды. Так часто называют метеоры, которые ярче самых ярких планет. Иногда наблюдаются болиды ярче полной Луны и крайне редко — ярче Солнца. Болиды возникают от наиболее крупных метеороидов. Среди них много осколков астероидов, которые плотнее и прочнее, чем фрагменты кометных ядер. Но всё равно большинство астероидных метеороидов разрушается в плотных слоях атмосферы. Если же им удастся проникнуть в атмосферу достаточно глубоко, некоторые из них падают на поверхность в виде метеоритов. Из-за высокой яркости болиды кажутся значительно ближе, чем в действительности, поэтому прежде чем организовывать поиск метеоритов, необходимо сопоставить наблюдения болидов из различных мест. Ежедневно по всей Земле около 12 болидов заканчивается падением метеоритов массой более 1 кг: большинство падает в океан, но некоторые из упавших на сушу позже обнаруживаются.

Физические процессы. Разрушение метеороида в атмосфере происходит путём абляции, т. е. отщепления атомов с его поверхности под действием налетающих частиц воздуха. Остающийся за метеороидом горячий газовый след излучает свет, но не в результате химических реакций, а вследствие рекомбинации возбуждённых ударами атомов. В спектрах метеоров видно множество ярких эмиссионных линий, среди которых преобладают линии железа, натрия, кальция, магния и кремния. Видны также

линии атмосферного азота и кислорода. Химический состав метеороидов, определённый по их спектру, согласуется с данными о кометах и астероидах, а также о межпланетной пыли, собранной в верхних слоях атмосферы.

Многие метеоры, особенно быстрые, оставляют за собой светящийся след, наблюдаемый секунду или две, а порой и значительно дольше. Когда падали крупные метеориты, след наблюдался несколько минут. Свечением атомов кислорода на высотах около 100 км можно объяснить следы длительностью не более секунды. Более долгие следы возникают из-за сложного взаимодействия метеороида с атомами и молекулами атмосферы. Пылевые частицы вдоль траектории болида могут образовать яркий след, если верхние слои атмосферы, где они рассеяны, освещены Солнцем, когда у наблюдателя внизу глубокие сумерки.

Скорости метеороидов существенно сверхзвуковые. Когда метеороид достигает сравнительно плотных слоёв атмосферы, возникает мощная ударная волна, и сильные звуки могут разноситься на десятки километров. Они напоминают раскаты грома или далёкую канонаду. Из-за большого расстояния звук приходит на минуту или две позже появления болида. Несколько десятилетий астрономы спорили о реальности аномального звука, который некоторые наблюдатели слышали непосредственно в момент появления болида и описывали как треск или свист. Предполагают, что причиной звука служат возмущения электрического поля вблизи болида, под влиянием которых издают звук близкие к наблюдателю объекты — волосы, мех, деревья.

Метеоритная опасность. Крупные метеороиды могут разрушать космические аппараты, а мелкие пылинки постоянно истачивают их поверхность. Удар даже небольшого метеороида может сообщить спутнику электрический заряд, который выведет из строя электронные системы. Риск в общем-то невелик, но всё же запуски космических аппаратов иногда откладывают, если ожидается сильный метеороидный поток. Если аппарат уже на орбите, то стараются ориентировать его так, чтобы метеороиды на-

несли ему минимальный ущерб. Например, орбитальные телескопы направляют в антиапекс потока, чтобы микрометеориты не повредили зеркало телескопа.

МЕТЕОРИТ (греч. «камень с неба») — твёрдое тело естественного происхождения, упавшее на поверхность Земли из космоса. Метеориты — это неиспарившиеся остатки метеороидов, которые считаются фрагментами астероидов и комет.

Метеориты — старейшие среди известных минералов (4,5 млрд лет), поэтому в них должны сохраниться следы процессов, сопровождавших формирование планет. Пока на Землю не были доставлены образцы лунного грунта, метеориты оставались единственными образцами внеземного вещества. Геологи, химики, физики и металлурги собирают и изучают метеориты уже более 200 лет. Из этих исследований возникла наука о метеоритах.

Хотя первые сообщения о падении метеоритов появились давно, учёные относились к ним весьма скептически. Но разнобразные факты в конце концов заставили их поверить в существование метеоритов. В 1800–1803 гг. несколько известных европейских химиков сообщили, что химический состав «метеорных камней» из разных мест падения схож между собой, но отличается от состава земных пород. Наконец, когда в 1803 г. в Эгле (Франция) разразился ужасный «каменный дождь», усыпавший землю осколками, что было засвидетельствовано множеством очевидцев, Французская академия наук вынуждена была согласиться, что это действительно «камни с неба». С этого момента факт падения на Землю космических тел был признан наукой. Для их названия сначала использовали термины «аэролит» и «метеоролит» (от греч. *lithos* — камень), т. е. «камень из воздуха, с неба», введённый Теодором Гротгусом (1785–1822) в 1820–1821 гг. Термины «метеорит» и «метеороид» стали употребляться после 1860 г.

По способу обнаружения метеориты подразделяют на «падения» (т. е. замеченные в процессе падения, обычно — как болиды) и «находки» (т. е. обнаруженные на земле по специфическому отличию их внешнего вида). Если человек видел, как метеорит

падал сквозь атмосферу, и затем действительно обнаружил его на земле (событие очень редкое), то такой метеорит называют «упавшим». Если же он был найден случайно и опознан, что типично для железных метеоритов, то его называют «найденным». Один из старейших сохранившихся найденных метеоритов упал в 1492 г.; этот 127-килограммовый каменный метеорит выпал на пшеничное поле близ города Энсисем в Эльзасе (ныне Франция).

Каждый год несколько метеоритов подбирают сразу после их наблюдавшегося падения. К тому же всё больше обнаруживают старых метеоритов, особенно в тех местах, где их легко заметить. В двух местах на востоке шт. Нью-Мексико, где ветер постоянно выдувает почву, было найдено 90 метеоритов. На поверхности испаряющихся ледников в Антарктиде были обнаружены тысячи метеоритов. Много метеоритов было найдено в пустынях. Недавно упавшие метеориты покрыты остеклованной спекшейся коркой, которая темнее внутренней части.

Метеориты представляют большой научный интерес; в большинстве крупных естественно-научных музеев и во многих университетах есть специалисты по метеоритам. На февраль 2010 г. во всех метеоритных коллекциях мира было зарегистрировано 1086 падений и 38 660 находок метеоритов. В некоторых случаях обнаруживается не один, а несколько осколков. Например, после метеоритного дождя 1912 г. в Хольбруке (Аризона) было собрано более 20 тыс. фрагментов.

Обычно метеорит получает имя по названию места, где он обнаружен. Например, Сихотэ-Алинский метеорит упал в Уссурийской тайге в горах Сихотэ-Алинь на Дальнем Востоке СССР 12 февраля 1947 г. Он раздробился в атмосфере и выпал железным дождём на площади 35 км². За несколько лет поисков были собраны многие десятки тысяч его фрагментов общей массой более 31 т. А полная масса осколков этого железистого метеорита оценивается в 60–100 т.

Характерные внешние признаки метеорита — оплавленная, обычно покрытая чёрной корой поверхность с характерными вмятинами-регмаглиптами (следы сверхзвуко-

вого полёта в атмосфере). По составу обычно различают каменные, железо-каменные и железные метеориты. Последние в основном состоят из железа и никеля. Поиск метеоритов особенно продуктивен на светлых безжизненных равнинах (снег, лёд, песок), где тёмный метеорит легко заметить издали. Поэтому особенно много метеоритов обнаружено при систематическом поиске в аравийских и австралийских пустынях, в Сахаре и Антарктиде. Так, на ледяных полях Антарктиды найдено более 23 тыс. метеоритов, в Северной Африке — более 2 тыс., тогда как в США — около 1,5 тыс., в Индии — 132, в России — 119.

Среди найденных метеоритов большинство имеет вес от нескольких граммов до нескольких килограммов. Крупнейший из найденных железный метеорит Гоба весит около 60 т и до сих пор лежит там же, где был обнаружен, — в Южной Африке. Большинство метеоритов представляет собой осколки астероидов, но некоторые попали на Землю с Луны и, возможно, даже с Марса.

Иногда под напором воздуха метеорит дробится на множество фрагментов. Проходя сквозь атмосферу, он теряет от 10 до 90% начальной массы. Но внутри метеорит обычно остаётся холодным, поскольку не успевает прогреться за 5–10 секунд падения. Преодолевая сопротивление воздуха, небольшие метеориты к моменту удара о землю существенно снижают скорость полёта и углубляются в грунт обычно не более чем на метр, а иногда просто остаются на поверхности. Но крупные метеориты тормозятся незначительно и при ударе производят взрыв с образованием кратера, так, например, как в Аризоне или на Луне.

По разным оценкам, на Землю в сутки попадает от 100 до 1000 т твёрдого космического вещества. Из этого количества менее 1% (т. е. порядка 1 т/сут) выпадает на поверхность в виде метеоритов. Частицы с массами менее 10^{-6} г (микрометеороиды) тормозятся в атмосфере Земли раньше, чем успевают нагреться до температуры испарения, поэтому они практически не разрушаются и не светятся, а спокойно оседают на поверхность планеты. Не зафиксировано надёжно ни одного случая, чтобы метеорит

убил человека, хотя попадания в дома и автомобили случались.

Кроме академических и музейных коллекций метеоритов существует немало частных коллекций, а также коллекций при планетариях и астрономических клубах. В мире весьма интенсивно происходит торговля метеоритами. Цены варьируются от одного до тысячи долларов США за грамм. Самые дорогие метеориты — прилетевшие, как считается, с Луны или Марса.

Типы метеоритов. Состав метеоритов бывает различным. Некоторые состоят в основном из сплава железа и никеля, содержащего до 40% никеля. Среди упавших метеоритов всего 5,7% железных, но в коллекциях их доля значительно больше, поскольку они медленнее разрушаются под влиянием воды и ветра, к тому же их легче обнаружить по внешнему виду. Если отполировать срез железного метеорита и слегка протравить кислотой, то часто на нём можно увидеть кристаллический рисунок из пересекающихся полос, образованный сплавами с различным содержанием никеля. Этот рисунок называют «видманштетеновыми фигурами» в честь А. де Видманштетена, первым наблюдавшего их в 1808 г.

Каменные метеориты подразделяют на две большие группы: хондриты и ахондриты. Наиболее часто встречаются хондриты, составляя 84,8% от всех упавших метеоритов. Они содержат округлые зёрна миллиметрового размера — хондры; некоторые из метеоритов почти целиком состоят из хондр. В земных породах хондры не найдены, но похожие по размеру стекловидные зёрна обнаружены в лунном грунте. Возможно, хондры являлись исходным веществом планет. Химики тщательно изучили их, поскольку химический состав хондр, вероятно, представляет первичное вещество Солнечной системы. Этот стандартный состав называют «космическим обилием элементов». В хондритах определённого типа, содержащих до 3% углерода и 20% воды, усиленно искали признаки биологического вещества, но ни в этих, ни в других метеоритах не обнаружили никаких признаков живых организмов. Ахондриты лишены хондр и по виду напоминают лунную породу.

Родительские тела метеоритов. Изучение минералогического, химического и изотопного состава метеоритов показало, что они являются осколками более крупных объектов Солнечной системы. Максимальный радиус этих родительских тел оценивается в 200 км. Примерно такой размер имеют самые крупные астероиды. Оценка основана на скорости остывания железного метеорита, при которой получают два сплава с никелем, образующих видманштеттеновы фигуры. Каменные метеориты, вероятно, были выбиты с поверхности небольших планет, лишённых атмосферы и покрытых кратерами, как Луна. Космическое излучение разрушило поверхность этих метеоритов так же, как и лунных камней. Тем не менее химический состав метеоритов и лунных образцов различается настолько, что совершенно очевидно — метеориты прибыли не с Луны. Ученые смогли сфотографировать несколько метеорита в процессе падения и вычислить по фотографиям их орбиты: оказалось, что эти тела пришли из пояса астероидов. Вероятно, астероиды служат основными источниками метеоритов, хотя некоторые из них могут быть частицами испарившихся комет.

МЕТЕОРНЫЙ ДОЖДЬ — то же, что *Звёздный дождь*.

МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК — множественное явление метеоров в течение нескольких часов или суток, появляющихся с одного направления на небе. В некоторые дни года метеоры появляются гораздо чаще, чем обычно. Это явление и называют метеорным потоком. Наиболее интенсивные метеорные потоки называют «метеорными дождями» или «звёздными дождями»: они порождают десятки тысяч метеоров в час.

Систематическое появление метеоров в определённой области неба и в определённые дни года вызвано пересечением орбиты Земли с общей орбитой множества метеороидов, движущихся с примерно одинаковыми и одинаково направленными скоростями. Если проследить на небе пути метеоров, то покажется, что все они вылетают из одной общей точки, называемой *радиантом потока*. Это явление перспективны, подобное сходящимся у горизонта рельсам,

Некоторые метеорные потоки

N — количество метеоров, отмечаемых одним наблюдателем за час; D — продолжительность наиболее активной части потока

Поток	Созвездие	Дата максимума	N	D , сут
Квадрантиды	Волпас	3 января	40	1
Лириды	Лира	21 апреля	10	2
Персеиды	Персей	11 августа	50	5
Ориониды	Орион	20 октября	20	8
Леониды	Лев	16 ноября	10	4
Геминиды	Близнецы	13 декабря	50	6

указывает, что все частицы движутся по параллельным траекториям.

Известно несколько десятков метеорных потоков, многие из которых демонстрируют ежегодную активность продолжительностью от нескольких часов до нескольких недель. Большинство потоков названо по имени созвездия, в котором лежит их радиант: так, Персеиды ежегодно наблюдаются «вылетающими» из созвездия Персей с 20 июля по 20 августа. Иногда метеорным потоком называют и сам метеороидный рой, движущийся по орбите вокруг Солнца и порождающий данный метеорный поток.

После изумительного звёздного дождя, вызванного потоком Леониды в 1833 г., В. Б. Кларк и Денисон Олмстед предположили, что он связан с определённой кометой. В начале 1867 г. Карл Петерс, Джованни Скиапарелли и Теодор Оппольцер независимо доказали эту связь, установив схожесть орбит кометы 1866 I (55P/Темпеля — Тутля) и метеорного дождя Леониды 1866 г.

Метеорные потоки наблюдаются, когда Земля пересекает траекторию роя частиц, образовавшегося при разрушении кометы. Приближаясь к Солнцу, комета нагревается и теряет вещество. За несколько столетий под действием гравитационных возмущений от планет эти частицы образуют вытянутый рой вдоль орбиты кометы. Если Земля пересекает его, мы ежегодно можем наблюдать звёздный дождь, даже если сама комета в этот момент далеко от Земли. Поскольку частицы распределены вдоль орбиты неравномерно, интенсивность дождя год от года может меняться. Старые потоки настолько расширены, что Земля пересекает

их много дней. В сечении некоторые потоки напоминают скорее ленту, чем шнур.

Возможность наблюдать поток зависит от направления прихода частиц к Земле. Если радиант расположен высоко на северном небе, то из Южного полушария Земли поток не виден, и наоборот. Метеоры потока можно увидеть, только если радиант находится над горизонтом. Если же радиант попадает на дневное небо, то метеоры не видны, но их можно засечь радаром. Узкие потоки под влиянием планет, особенно Юпитера, могут изменять свои орбиты.

МЕТЕОРНЫЙ СЛЕД — след в атмосфере, остающийся после пролёта метеора. Различают пылевые и газовые (ионизованные) метеорные следы. Отражение радиоволн от ионизованного метеорного следа позволяет наблюдать их радиолокационными методами даже днём.

МЕТЕОРОИД, или **метеорное тело**, — небольшое твёрдое межпланетное тело (от песчинки до поперечника в 10–50 м), которое при влёте из космического пространства в атмосферу планеты становится причиной метеора и возможного выпадения метеорита на поверхность планеты. Обычно метеороид — это фрагмент кометы или астероида. Влетая в атмосферу Земли со скоростью более 11 км/с, метеороиды раскаляются и испаряются, ионизуя и возбуждая при этом атомы воздуха, из-за чего возникает наблюдаемый яркий след — метеор. Наиболее мощные метеоры — болиды — бывают видны даже днём. Именно они часто сопровождаются падением на поверхность Земли метеоритов.

МЕТОД ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ (доплеровский метод) — один из основных методов, применяемых при поиске внесолнечных планет (экзопланет). Наряду с тем, что звезда заставляет планету обращаться вокруг себя по орбите, планета также вынуждает свою звезду обращаться вокруг общего с ней центра масс. В результате в движении звезды появляется малый периодический компонент: на практически прямолинейный полёт звезды в пространстве накладывается небольшая волна с периодом, равным орбитальному периоду планеты. Например, Юпитер вызывает дополнитель-

ное движение Солнца с амплитудой 13 м/с и периодом около 12 лет. Влияние Земли на Солнце гораздо слабее: с периодом в 1 год оно приводит к флуктуации скорости Солнца в 10 см/с. Если у звезды есть планета, то лучевая скорость звезды для удалённого наблюдателя будет периодически меняться: то немного увеличиваться, то уменьшаться. Если влияние планеты достаточно сильное, наблюдатель сможет заметить эти вариации в движении звезды по смещению линий в её спектре — то в красную, то в голубую сторону.

До 1980 г. погрешность измерения лучевых скоростей составляла в лучшем случае около 1 км/с, что делало этот метод бесполезным для поиска планет у иных звёзд. Однако в начале 1980-х гг. Брюс Кемпбел (Bruce Campbell) и Гордон Уокер (Gordon Walker) разработали способ измерения лучевой скорости с погрешностью 15 м/с. Несколько групп астрономов по всему миру стали совершенствовать метод и применять его для поиска экзопланет. Именно так в 1995 г. были надёжно обнаружены первые экзопланеты.

МИКРОВОЛНОВОЕ ФОНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — см. *Реликтовое излучение*.

МИКРОКВАЗАР — космический объект с массой звезды, но с характерными внешними проявлениями квазара в миниатюре, такими как сильная эмиссия в широком диапазоне длин волн — от радио- до рентгеновской области, быстрые изменения рентгеновского излучения и наличие радиоджетов. Впервые этот термин стали употреблять в 1980-е гг. по отношению к тесной двойной системе SS 433, расположенной в пределах Галактики и состоящей из нормальной звезды массой около $20 M_{\odot}$ и компактного объекта (вероятно, чёрной дыры) массой около $11 M_{\odot}$. Из аккреционного диска, окружающего компактный объект, вырываются две тонкие струи (джеты) со скоростью 26% от скорости света.

Все микроквazarы — двойные системы, где нормальная звезда обращается вокруг чёрной дыры или нейтронной звезды и при этом теряет массу. Поток газа втекает в быстровращающийся аккреционный диск, разогревается до нескольких милли-

онов градусов и падает на компактный объект или частично выбрасывается в виде bipolarного потока.

В нашей Галактике известно около дюжины микроквazarов. Один из них под названием GRS 1915+105, обнаруженный в 1994 г. рентгеновским спутником «GRANAT», расположен на расстоянии 36 000 св. лет в созвездии Орёл. Этот объект состоит из обычной звезды массой в несколько масс Солнца, обращающейся вокруг самой массивной из найденных до сих пор чёрных дыр звёздного происхождения — её масса равна $14 M_{\odot}$. В год своего открытия этот микроквazar выбросил в двух противоположных направлениях со скоростью 0,92 с массу, равную $1/3$ массы Луны.

Другой микроквazar, LS 5039, расположен ближе, на расстоянии 9100 св. лет, и имеет два радиоджета, каждый длиной около 2,6 млрд км, но сам он очень тусклый в рентгеновском диапазоне. Однако он является одним из трёх источников γ -излучения чрезвычайно высокой энергии (два других — LS I +61 303 и PSR B1259-63). По-видимому, дальнейшие наблюдения выявят ещё такие же тусклые рентгеновские объекты. Если они будут найдены, то может оказаться, что микроквazarы — главные источники высокоэнергичных частиц и излучения в Галактике.

МИКРОСКОП — небольшое южное созвездие; группа очень тусклых звёзд, лежащих между Козерогом и Индейцем. Введено Н. Лакайлем в 1756 г. в честь изобретения микроскопа Левенгука.

МИРИДЫ — холодные звёзды-гиганты спектральных классов Ke, Me, Se или Ce (с молекулярными полосами в спектре), пульсирующие с периодами от 80 до 1000 суток и меняющие свой оптический блеск с амплитудой от $2,5^m$ до 11^m . Мириды называют также долгопериодическими переменными. Название они получили по имени прототипа — Миры Кита (о Ceti). Другой известный представитель этой группы — звезда R Льва (R Leo). Высокая яркость, большая амплитуда изменения блеска и характерные особенности мирид облегчают их отождествление, поэтому большинство звёзд этого типа уже известно. Они занимают область

высоких светимостей на асимптотической ветви гигантов диаграммы Герцшпрунга — Рассела наряду с полуправильными переменными.

Мириды имеют массы, близкие к массе Солнца, но по размеру значительно превосходят Солнце, поэтому в их наружных слоях гравитационное притяжение вещества слабее, из-за чего вещество из их атмосфер выбрасывается в межзвёздное пространство в виде звёздного ветра с интенсивностью 10^{-7} – $10^{-6} M_{\odot}$ в год и собирается вокруг звезды в виде околзвёздной оболочки. Потеря массы на стадии мириды может длиться лишь несколько миллионов лет, пока прееволюционировавшая звезда не станет белым карликом, окружённым планетарной туманностью. Считается, что Солнце станет миридой через несколько миллиардов лет.

МИСТЕРИУМ — гипотетическая субстанция, которой в 1966 г. были приписаны очень яркие и узкие радиолинии на волне 18 см от некоторых компактных туманностей. Вскоре выяснилось, что источниками этого излучения служат природные мазеры на молекуле гидроксила OH. См. также *Короний* и *Небулий*.

МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ — светлая клочковатая туманная полоса, пересекающая звёздное небо и опоясывающая его по большому кругу. Млечный Путь образован светом миллионов далёких звёзд диска нашей Галактики, по отдельности не различимых невооружённым глазом. Эти звёзды концентрируются к экваториальной плоскости Галактики. Близ этой же плоскости расположено Солнце, поэтому большинство звёзд проецируется на небесную сферу в пределах узкой полосы Млечного Пути. Его клочковатый вид связан с тем, что к этой же плоскости концентрируются межзвёздные газово-пылевые облака, поглощающие свет лежащих за ними звёзд. Особенно наглядно это видно в области созвездия Лебедь, где полоса Млечного Пути раздваивается из-за сильного поглощения света вдоль её средней части.

В западной литературе Млечным Путём (Milky Way) нередко называют и саму нашу Галактику, но в русскоязычной литературе это не принято.

МОДИФИЦИРОВАННАЯ ЮЛИАНСКАЯ ДАТА — вариант счёта юлианских дат с нуля-пунктом, соответствующим полудню 17 ноября 1858 г. Иными словами, значение модифицированной юлианской даты (Modified Julian Date, MJD) равно юлианской дате минус 2 400 000,5 суток. Модифицированные юлианские даты иногда используют при вычислении орбит космических аппаратов. Значение MJD на начало каждого дня года публикуется в астрономических ежегодниках.

МОЛЕКУЛЫ В МЕЖЗВЁЗДНОЙ СРЕДЕ — простейшие соединения химических элементов, обнаруженные в межзвёздной среде методами спектроскопии. В астрофизике молекулой обычно называют любую частицу из двух и более атомов, соединённых в одно целое химическими связями. К межзвёздным часто относят и молекулы, обнаруженные в планетарных туманностях и внешних частях протяжённых атмосфер холодных звёзд-сверхгигантов. Эти области обычно называют околозвёздными оболочками, а присутствующие в них молекулы — околозвёздными молекулами. Действительно, порой трудно сказать, где кончается звезда и начинается межзвёздная среда, поэтому чёткое разделение молекул на межзвёздные и околозвёздные большого смысла не имеет.

Межзвёздный газ состоит в основном из атомов или ионов водорода (около 70% общей массы) и гелия (около 28%). Атомы и ионы других элементов, а также молекулы составляют незначительную примесь (около 2%), хотя играют важную роль в физических и химических процессах, протекающих в межзвёздной среде. Молекулы могут иметь различный изотопный состав.

Подавляющее большинство межзвёздных молекул было открыто после 1970 г. методами радиоастрономии. К началу 2021 г. было надёжно отождествлено 225 видов молекул (с учётом их различного изотопного состава), в том числе большое количество органических молекул, содержащих до 13 атомов. Некоторые важные из них представлены в таблице.

Многие молекулы найдены в нескольких изотопных вариантах. Например, окись

углерода обнаружена в виде $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{12}\text{C}^{17}\text{O}$ и $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$. Были сообщения об обнаружении очень сложных и интересных молекул, таких как аминокислота глицин ($\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), катион нафталина ($\text{C}_{10}\text{H}_8^+$), графен (C_{24}), но они пока не подтверждены независимыми наблюдениями. Возможно даже, что сообщение о глицине, опубликованное в 2003 г., вообще было ошибочным.

Первые межзвёздные молекулы (CH , CN , CH^+) были обнаружены на рубеже 1940-х гг. по линиям поглощения в спектрах звёзд, обусловленным электронными переходами. У большинства других молекул электронные переходы дают линии в дальней УФ-области спектра, для которой земная атмосфера совершенно непрозрачна, поэтому в последующих открытиях молекул важную роль сыграли внеатмосферные наблюдения с ракет и ИСЗ. В частности, они привели к открытию в 1970 г. молекулы H_2 .

Теоретически было предсказано, что в достаточно плотных облаках межзвёздного газа молекулы H_2 должны быть многочисленны. Наблюдения и детальный теоретический анализ показали, что отношение концентраций $n(\text{H}_2)/n(\text{H})$ зависит от плотности облака и его размеров: при концентрациях $n(\text{H}) \geq 100\text{--}1000 \text{ см}^{-3}$ и размерах ≥ 1 пк водород внутри облака оказывается преимущественно в молекулярной форме. К сожалению, из-за сильного поглощения пылью наиболее плотные облака ненаблюдаемы в УФ-линиях H_2 : непрерывный спектр расположенных за ними звёзд слишком слаб, и линии поглощения H_2 в нём не видны.

Детальное изучение межзвёздных молекул стало возможным только с развитием радиоастрономии. В коротковолновый радиодиапазон попадают спектральные линии, обусловленные переходами между вращательными уровнями энергии некоторых молекул. На принципиальную возможность наблюдения межзвёздных молекул в радиодиапазоне обратил внимание И. С. Шкловский ещё в 1949 г., но лишь в 1963 г. впервые удалось зарегистрировать в радиодиапазоне линии OH ($\lambda \approx 18 \text{ см}$). Четыре радиолинии OH вблизи этой длины волны наблюдаются как в поглощении, так и в эмиссии во многих областях Галактики и свидетельствуют

о чрезвычайном разнообразии физических условий в этих областях. Во многих разреженных межзвёздных облаках интенсивности этих четырёх линий имеют нормальное отношение (как при термодинамическом равновесии), это позволяет уверенно определить содержание молекул OH по отношению к водороду (оно варьирует в отдельных облаках от 10^{-7} до 10^{-4}). Сравнение ширины линий OH с ширинами радиолнии водорода 21 см для тех же облаков позволяет вычислить кинетическую температуру газа. Она равна 5–100 К.

Особенно интересны компактные (~ 10 –100 а. е.) источники эмиссионных линий OH с резко неравновесными отношениями интенсивностей линий и огромными значениями самих интенсивностей. Такую же мазерную природу имеет излучение в радиолнии 1,35 см молекулы H_2O , наблюдаемое от тех же областей Галактики. Есть данные, что здесь образуются новые поколения звёзд и что мазерное излучение OH и H_2O возбуждается в непосредственных окрестностях очень молодых звёзд, ещё окружённых остатками исходного газово-пылевого облака. Несколько менее интенсивное мазерное излучение молекул OH, H_2O и SiO наблюдается от сильно проэволюционировавших звёзд-гигантов и сверхгигантов: оно возникает в их истекающих оболочках и очень протяжённых атмосферах. Наиболее распространённые молекулы H_2 не имеют линий в радиодиапазоне (так как у них нет дипольного момента), и их концентрацию определяют по молекулам CO: теория и наблюдения показывают, что обилие межзвёздной окиси углерода $n(CO)/n(H_2)$ постоянно в очень широком интервале физических условий и близко к $6 \cdot 10^{-5}$.

Основная радиолния CO с длиной волны 2,6 мм оказалась наиболее удобным «инструментом» для исследования пространственной структуры, распределения в Галактике и физических характеристик плотных молекулярных облаков. Молекулы способствуют охлаждению облаков, так как они излучают относительно легко выходящие из облака фотоны, которые рождаются при переходах между вращательными уровнями молекул, возбуждаемых при столкно-

Важные межзвёздные молекулы

Формула	Название	Спектральный диапазон	Год от-кры-тия
CH	Метилидин	Оптический	1937
CN	Циан	Оптический	1940
CH ⁺	Метилидин (ион)	Оптический	1941
OH	Гидроксил	Радио, 18 см	1963
H ₂ O	Водяной пар	Радио, 1,4 см	1968
NH ₃	Аммиак	Радио, 1,3 см	1968
HCON	Формальдегид	Радио, 6,2 см	1969
CO	Монокись углерода	Радио, 2,6 мм	1970
H ₂	Молекулярный водород	Ультрафиолет	1970
HCOOH	Муравьиная кислота	Радио, 18 см	1970
HCN	Синильная кислота	Радио, 3,4 мм	1970
CH ₃ OH	Метанол (древесный спирт)	Радио, 36 см	1970
NH ₂ CHO	Формамид	Радио, 6,5 см	1971
CS	Сероуглерод	Радио, 2,0 мм	1971
SiO	Монокись кремния	Радио, 2,3 мм	1971
H ₂ S	Сероводород	Радио, 1,8 мм	1972
SO	Монокись серы	Радио, 3,0 мм	1973
CH ₃ CH ₂ OH	Этиловый (винный) спирт	Радио, 2,9 мм	1974
SiS	Сульфид кремния	Радио, 2,8 мм	1975
SO ₂	Двуокись серы	Радио, 3,6 мм	1975
C ₂ H ₂	Ацетилен	Инфракрасный	1976
CH ₂ CO	Кетен	Радио, 2,9 мм	1976
C ₂	Двухатомный углерод	Инфракрасный	1977
NO	Окись азота	Радио, 2,0 мм	1978
CH ₃ SH	Метилмеркаптан	Радио, 3,0 мм	1979
O ₃	Озон	Радио, 1,5 мм	1980
C ₂ H ₄	Этилен	Инфракрасный	1980
HC ₁₁ N	Цианодекантин	Радио, 1,3 см	1981
HCl	Хлористый водород	Инфракрасный	1985
H ₂ D ⁺	Дейтерированный водород	Радио, 0,8 мм	1985
(CH ₃) ₂ CO	Ацетон	Радио, 3,6 мм	1987
H ₃ ⁺	Протонизированный водород	ИК, 3,67 мкм	1996
CH ₃ COOH	Уксусная кислота	Радио, 3 мм	1997
CH ₂ OHCHO	Гликольальдегид (сахар)	Радио, 3 мм	2000
CH ₂ CHCH ₃	Пропилен	Радио, 3 мм	2007
C ₆₀ и C ₇₀	Фуллерены	ИК, 7–22 мкм	2010
O ₂	Кислород	Суб-мм, 0,6 мм	2011
CH ₃ CH ₂ SH	Этилмеркаптан	Радио, 2,3 мм	2014
C ₆ H ₅ CN	Бензонитрил	Радио, 1,5 см	2018
HeH ⁺	Гидрид гелия (гелоний)	ИК, 149,1 мкм	2019

вениях. Охлаждение способствует гравитационному коллапсу облака. Кроме того, при химических превращениях в облаке могут возникнуть тепловые и динамические неустойчивости, которые, в свою очередь, могут «включить» гравитационную неустойчивость, приводящую к сжатию облака как целого и к его фрагментации.

Замечательная особенность молекулярного состава наиболее плотных молекулярных облаков — преобладание органических соединений: обнаружены альдегиды, спирты, простые и сложные эфиры, карбоновые кислоты, амиды кислот. Многие из этих соединений (HCN, CH₂NH, CH₃NH₂ и др.) известны как активный исходный материал для образования важнейших предбиологических молекул — аминокислот и азотистых оснований, что позволяет с уверенностью говорить об универсальности путей органического синтеза во Вселенной. Действительно, органический состав молекулярных облаков весьма напоминает состав богатых органикой метеоритов — углистых хондритов, а также типичные составы органических смесей, синтезируемых в лабораториях из простых соединений путём активации жёстким излучением, электрическим разрядом, ударными волнами и т. п.

Концентрации молекул в межзвёздной среде определяются кинетикой процессов их образования и разрушения. Молекулы могут образоваться в результате химических реакций в газовой среде либо реакций на поверхности твёрдых пылинок непосредственно в облаках, но могут поступать туда и в готовом виде из атмосфер и оболочек холодных звёзд (благодаря звёздному ветру), где условия для их образования несколько более благоприятны. Молекулы H₂ почти наверняка образуются на поверхности пылинок. Столкновения ионов с молекулами приводят к ионно-молекулярным реакциям и синтезу более сложных молекул, особенно эффективному при низких температурах. Разрушаться молекулы должны главным образом УФ-излучением горячих звёзд и космическими лучами. Типичные значения обилия сложных молекул $\sim 10^{-7}$ – 10^{-9} по отношению к молекуле водорода.

МОЛЕКУЛЫ НА ЗВЁЗДАХ — простейшие соединения химических элементов, обнаруженные в атмосферах звёзд методами спектроскопии. В атмосферах всех звёзд с температурой поверхности ниже примерно 6000 К помимо атомов и ионов присутствуют также молекулы. Большое разнообразие молекул (OH, NH, CH, CN, CO, SiH, MgH, O₂, C₂, TiO и др.) наблюдается, в частности, в атмосфере Солнца и особенно в солнечных пятнах. В атмосферах холодных звёзд с температурой поверхности 2000–3000 К молекулы — доминирующий компонент.

Относительное содержание различных молекул в звёздной атмосфере с хорошей точностью отвечает условию термохимического (диссоциативного) равновесия и определяется термохимическими константами этих молекул (в первую очередь энергией диссоциации), полным давлением газа, его температурой и относительным содержанием химических элементов. Оно не зависит от конкретных химических реакций в газе. Так, сильные различия молекулярных составов звёзд классов M и R, N определяются различиями в относительном содержании элементов, в первую очередь отношением содержаний O и C. Если кислорода в атмосфере больше, чем углерода, то он связывает весь углерод в очень устойчивых молекулах CO, а остаток его идёт на образование OH, H₂O, TiO. Эти молекулы имеют много полос в видимой области спектра и доминируют в спектрах звёзд класса M. Если углерода больше, чем кислорода, то, наоборот, в молекулы CO связывается весь кислород, а остаток углерода идёт на образование молекул C₂, CH, CN и некоторых других. Полосы этих двухатомных молекул доминируют в спектрах звёзд классов R и N. В силу этих причин M-звёзды часто называют кислородными, а R- и N-звёзды — углеродными. Расчёты диссоциативного равновесия атмосфер холодных звёзд показали, что в атмосферах углеродных звёзд должны присутствовать многоатомные органические молекулы: HCN, C₃N, HC₃N, CH₄. Их концентрации могут даже превышать концентрации двухатомных молекул CH, C₂ и CN, имеющих сильные полосы в видимой области спектра и поэтому легче обнаружимых.

Особенно много молекулярных линий и полос в ИК- и субмиллиметровой областях спектра (они отвечают колебательно-вращательным и чисто вращательным переходам в молекулах). Некоторые вращательные переходы, а также переходы между подуровнями специфических для молекул типов расщепления уровней энергии (L-удвоение и т. п.) попадают в радиодиапазон. С освоением астрономией этих диапазонов необычайно расширились возможности изучения атмосфер и оболочек холодных звёзд. Наблюдения в радиолиниях молекул H_2O , OH , SiO и др. приносят важную информацию о более высоких слоях атмосфер и о протяжённых оболочках холодных звёзд. Здесь уже не выполняются условия диссоциативного равновесия: концентрация молекул определяется кинетикой процессов их образования и разрушения. В оболочках холодных звёзд характер возбуждения энергетических уровней может сильно отличаться от равновесного. В частности, некоторые энергетические уровни молекул оказываются сильно перенаселёнными, что вызывает мазерное усиление радиоизлучения. Мощные мазеры в радиолиниях OH , H_2O и SiO связаны со многими холодными переменными звёздами высокой светимости.

МОЛЕКУЛЯРНОЕ ОБЛАКО — область повышенной плотности вещества в межзвёздной среде, практически полностью непрозрачная для оптического и УФ-излучения и поэтому имеющая в основном молекулярный состав (в прозрачных областях межзвёздной среды жёсткое излучение разрушает молекулы). Главная составляющая таких облаков — молекулы водорода (H_2), но присутствуют и более сложные молекулы.

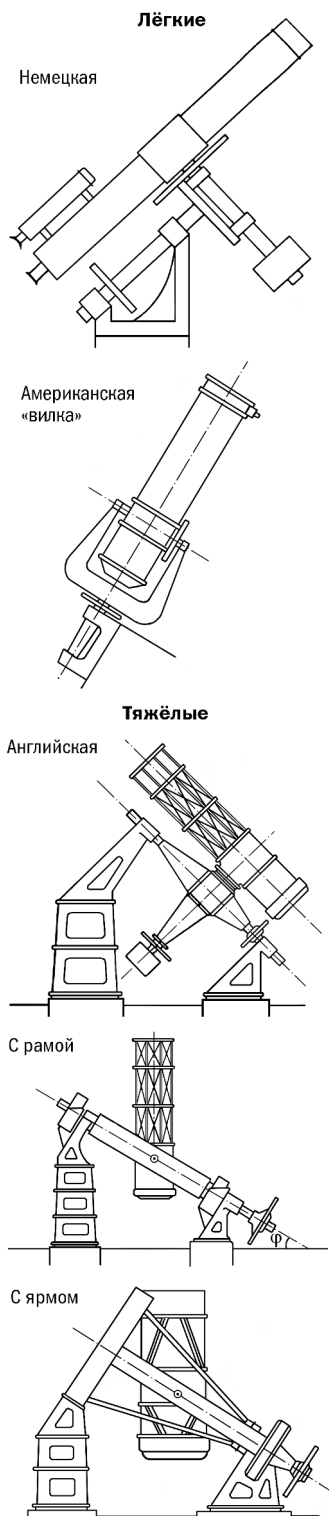
Плотность вещества в молекулярном облаке — 100–500 молекул в 1 см^3 , что в сотни раз выше плотности межоблачного вещества. Температура внутри облака менее 100 К, а в наиболее плотных его частях — всего 5–10 К. Особо выделяют «гигантские молекулярные облака» (ГМО), имеющие характерный радиус около 20 пк и массу порядка миллиона масс Солнца. В диске нашей Галактики несколько тысяч таких облаков; в их наиболее плотных частях —

ядрах — из газа формируются звёзды и планеты.

МОНТИРОВКА ТЕЛЕСКОПА — механическая конструкция, обеспечивающая движение трубы телескопа для его наведения на небесные объекты, для часового ведения в процессе экспозиции (т. е. удержания объекта в поле зрения телескопа путём компенсации вращения Земли) и для тонкого гидирования (компенсации мелких эффектов, смещающих объект в поле зрения телескопа при равномерном часовом ведении). Монтировки бывают передвижные (треноги, автомобильные прицепы) и стационарные. По конструкции системы гидирования делятся на экваториальные и альт-азимутальные. В экваториальных монтировках (см. рис. на с. 204) часовое ведение осуществляется вращением трубы телескопа вокруг одной часовой оси, которая параллельна оси Земли. В альт-азимутальной монтировке труба одновременно вращается с переменной скоростью вокруг двух осей — вертикальной и горизонтальной. Значительно реже применяются другие варианты монтировок, например гексаподная, в которой труба телескопа поддерживается и перемещается тремя парами гидроцилиндров.

МУЛЬТИВЕРС — то же, что *Сверхвселенная*.

МУХА — маленькое, но красивое южное созвездие, лежащее в ярком отроге Млечного Пути, к югу от Южного Креста, рядом с Хамелеоном (на старых картах он пытается дотянуться до мухи языком). Сначала эту область называли Apis (Пчела), затем — Musca Australis (Южная Муха), теперь — просто Musca. В 1991 г. орбитальные обсерватории «Гранат» и Ginga открыли в этом созвездии вспышку рентгеновской новой (обозначенную как XN Mus 1991). На том же месте наземные астрономы заметили и вспышку оптической новой. Установлено, что это очень тесная двойная система с орбитальным периодом менее полусуток, причём один из её компонентов — невидимый объект массой 9–16 $M_\odot$ — почти наверняка чёрная дыра. Кроме того, из системы приходит характерное γ -излучение, говорящее об аннигиляции электронов и позитронов, следовательно, там возникает и гибнет антивещество!



Типы экваториальных монтировок телескопов

Н

НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ СЕЛЕКЦИЯ — невольный тенденциозный отбор данных, который производит наблюдатель при статистических исследованиях. Обычно это вызвано разной «замечаемостью» объектов разного типа, наблюдаемых с помощью приборов определённой конструкции: так, поиск двойных звёзд с помощью спектрографа приводит к обнаружению в основном тесных систем, амплитуда орбитальных скоростей которых велика. А поиск физических двойных астрометрическими методами позволяет обнаружить только широкие пары, расстояние между компонентами которых превышает угловое разрешение телескопа.

НАДИР — точка небесной сферы, расположенная вертикально вниз от наблюдателя. Лежит на пересечении отвесной линии с небесной сферой, в направлении, противоположном зениту.

НАИБОЛЬШАЯ ЭЛОНГАЦИЯ — положение Меркурия или Венеры на небе, когда они наблюдаются на наибольших угловых расстояниях от Солнца. В этом случае луч зрения наблюдателя с Земли проходит по касательной к орбите планеты. Поскольку орбиты эллиптически, угол наибольшей элонгации может изменяться в пределах 18° – 28° для Меркурия и 45° – 47° для Венеры. Наибольшая элонгация наступает через 16–28 суток до или после нижнего соединения для Меркурия и через 70–71 суток — для Венеры. Оптимальное время для наблюдения этих планет — именно периоды вблизи наибольшей элонгации, поскольку в моменты, когда они ближе всего к Земле (нижнее соединение), к наблюдателю обращены их неосвещённые полушария.

НАИБОЛЬШИЙ БЛЕСК — момент, когда Меркурий или Венера достигают своего максимального блеска в течение синодического периода. Моменты наибольшего блеска для Меркурия наступают при элонгации 10° – 12° , когда его блеск достигает $-1,2^m$, а для Венеры — при элонгации 35° – 36° , когда её блеск превышает $-4,7^m$ и она является ярчайшим объектом неба после Солнца и Луны.

НАКЛОН ОСИ ВРАЩЕНИЯ ПЛАНЕТЫ — угол между осью вращения планеты и перпендикуляром к плоскости её орбиты (или, что то же самое, между плоскостью экватора планеты и плоскостью её орбиты). Соответствует англ. термину *obliquity*. Иногда наклоном оси (*inclination*) называют угол между полюсом вращения планеты и полюсом эклиптики или даже полюсом мира.

НАКЛОН ЭКВАТОРА К ЭКЛИПТИКЕ — угол между небесным экватором и эклиптической, т. е. между плоскостями земного экватора и земной орбиты. Этот же угол обычно называют углом наклона земной оси. С невысокой точностью он равен $23,5^\circ$, но не остаётся постоянным: как наклон экватора Земли, так и наклон её орбиты постепенно меняются. Короткопериодические изменения наклона экватора вызваны нутацией земной оси с периодом 18,6 года и амплитудой $9''$. Среднее значение наклона экватора к эклиптике обычно обозначают греческой буквой ϵ . Оно также очень медленно изменяется со временем. На 1 января 2000 г. значение $\epsilon = 23^\circ 26' 21,448''$.

НАКЛОНЕНИЕ ОРБИТЫ (реже говорят «наклон орбиты») — угол между орбитальной плоскостью планеты и плоскостью эклиптики. Для спутников планет обычно это угол между плоскостью орбиты спутника и экваториальной плоскостью планеты. Для двойных звёзд — угол между нормалью к плоскости орбиты и лучом зрения. Соответствует английскому термину *inclination*.

НАСЕЛЕНИЯ ГАЛАКТИКИ — звёзды и другие объекты галактики, объединённые некоторыми общими признаками, указывающими на их генетическую связь, характерный возраст, распределение и движение в пространстве. Наблюдаются объекты I и II типов населения, а также ведутся поиски объектов населения III типа. Иногда слово «тип» опускают и говорят короче — население I, население II и население III.

Население I. Это звёзды и другие объекты, например звёздные скопления и плотные межзвёздные облака, расположенные вблизи плоскости спиральной галактики и обращающиеся вокруг её центра по почти круговым орбитам. Эти объекты моложе объектов II и III типов населения, поэтому в

их составе больше тяжёлых элементов. Вероятно, они формируются на протяжении всего времени существования галактического диска. К старым звёздам населения I относят наше Солнце. Все звёзды населения I богаты элементами тяжелее водорода и гелия, так как они сформированы из облаков пыли и газа, содержащих продукты ядерного синтеза звёзд предыдущих поколений. Наличие тяжёлых элементов в протопланетных дисках считается основным фактором формирования планет, особенно планет земного типа. Поэтому только объекты населения I могут быть местом рождения планетных систем и, возможно, жизни, похожей на нашу.

Население II. К этому типу относят старые красные звёзды и другие объекты, наблюдаемые в галактических гало и балджах спиральных галактик, подобных нашей. Они наблюдаются около галактического центра и в той части галактики, которая наиболее удалена от галактической плоскости. Гало содержит отдельные старые звёзды и шаровые звёздные скопления. Звёзды населения II составляют большую часть эллиптических галактик. У них вытянутые орбиты обращения вокруг центра галактики, и в их составе мало тяжёлых элементов (т. е. элементов сложнее водорода и гелия), так как они формировались в ту эпоху, когда галактика была молодой и продукты ядерного синтеза ещё не попали из недр звёзд в межзвёздную среду. Поскольку тяжёлые элементы благоприятствуют формированию планет, можно ожидать, что у звёзд населения II планеты встречаются реже.

Население III. Это гипотетическое население звёзд, которые состоят почти из чистого водорода и гелия, а в их поверхностных слоях вообще нет тяжёлых элементов (т. е. элементов сложнее гелия). Согласно теории, это самые первые звёзды, сформировавшиеся после Большого взрыва, когда в космосе не существовало тяжёлых элементов кроме небольшого количества некоторых изотопов, таких как литий-7, который образовался в ходе Большого взрыва.

НАСОС — небольшое южное созвездие. Под названием Antlia Pneumatica (Воздушный Насос) Н. Лакайль выделил это тусклое со-

звездие в 1754 г. в честь изобретений, сделанных физиком Робертом Бойлем. Созвездие лежит к востоку от Компаса и к северу от Парусов. Ярчайшие звезды Насоса — красные гиганты 4–5 звёздной величины.

НАУГОЛЬНИК — небольшое южное созвездие, введенное Н. Лакайлем. Наугольник — это плотничный прибор, угломер. Созвездие лежит к юго-западу от Скорпиона. Хотя через него проходят обе ветви Млечного Пути, но в основном эта область неба занята темной прогалиной между ними и потому бедна яркими звёздами.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ (National Space Science Data Center) — центр данных астрономической и космической информации NASA, размещённый в Центре космических полётов им. Годдарда. Сайт: <http://nssdc.gsfc.nasa.gov>.

НЕБЕСНАЯ СФЕРА — воображаемая сфера произвольного радиуса, в центре которой располагается наблюдатель, внутри которой находятся все наблюдаемые небесные объекты и на поверхность которой, с точки зрения наблюдателя, они спроецированы. Небесная сфера применяется в астрономии как вспомогательная математическая поверхность для изучения взаимного расположения и движения космических объектов на основе определения их координат. Координаты объектов на небесной сфере (например — прямое восхождение и склонение) задаются путём продления линии, проведенной из центра небесной сферы через объект до пересечения с поверхностью сферы.

На небесной сфере выделяют: большие круги (их центры совпадают с центром сферы); малые круги (их центры не лежат в центре сферы); математический горизонт; зенит; надир; точки Юг, Восток, Север и Запад; полюсы мира, небесный экватор и меридиан; эклиптику; точки солнцестояний и равноденствий; суточные параллели — малые круги, параллельные экватору, которые вследствие суточного вращения Земли описывают все небесные светила на небесной сфере.

НЕБЕСНЫЕ КООРДИНАТЫ — числа, заданием которых определяется положение точки на небесной сфере. Поскольку положение

точки на сфере задаётся двумя углами, то небесные координаты — это угловые координаты, выраженные в одной из традиционных систем измерения углов: градусной, часовой, радианной и др. При решении разных задач используются различные сферические системы небесных координат. В большинстве случаев это горизонтальная, экваториальная, эклиптическая и галактическая системы координат, но изредка применяются и другие (например, сверхгалактическая). Горизонтальные и экваториальные небесные координаты определяют из наблюдений, эклиптические и галактические — вычисляют. См.: *Горизонтальная система координат, Экваториальная система координат, Галактическая система координат, Эклиптическая система координат*.

НЕБЕСНЫЙ МЕРИДИАН (лат. *meridianus* полуденный) — большой круг небесной сферы, проходящий через зенит наблюдателя и точки северного и южного полюсов мира. Плоскость небесного меридиана проходит через отвесную линию и ось мира. Небесный меридиан пересекается с горизонтом в точках севера и юга. Полуденная линия — это проекция небесного меридиана на плоскость математического горизонта.

НЕБЕСНЫЙ ЭКВАТОР — большой круг небесной сферы, равноудалённый от северного и южного полюсов мира. Небесный экватор лежит в плоскости земного экватора и служит основанием экваториальной системы небесных координат.

НЕБО — в быту так называют верхнюю область пространства, над линией истинного горизонта. На профессиональном языке астрономов этот термин имеет более узкий смысл — «безоблачное небо». Если астроном говорит: «Вчера ночью небо было после 23 часов», он имеет в виду, что в это время небо было безоблачным и условия для наблюдений в телескоп были подходящими.

НЕБУЛИЙ — гипотетический химический элемент, которому в начале XX в. приписывали некоторые яркие линии в спектрах эмиссионных туманностей. После развития квантовой механики, в 1927 г., эти линии были отождествлены с запрещёнными линиями ионизованных кислорода и азота. См. также *Короний* и *Мистериум*.

НЕБУЛЯРНАЯ ГИПОТЕЗА — гипотеза о том, что Солнце и планеты произошли из вращающегося газового облака: Солнце сконцентрировалось в его центральной части, а планеты образовались из оставшихся на периферии газовых колец.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР GALLEX — радиохимический детектор, созданный международной группой физиков из Франции, Германии, Италии, Израиля, Польши и США для регистрации солнечного нейтрино. Работа детектора основана на регистрации событий превращения ядер галлия-71 (^{71}Ga) в ядра радиоактивного германия-71 (^{71}Ge) при захвате нейтрино по схеме $\nu_e + ^{71}\text{Ga} \rightarrow ^{71}\text{Ge} + e^-$. Нижний порог энергии нейтрино в этой реакции 233,2 кэВ, тогда как верхняя граница энергии нейтрино в основной протон-протонной цепочке термоядерных реакций в недрах Солнца 420 кэВ. Поэтому эксперимент GALLEX (Gallium Experiment) стал первым способным регистрировать основной поток низкоэнергетичных солнечных нейтрино. В детекторе GALLEX используется мишень в виде ёмкости объёмом 54 м³, содержащей 101 т раствора хлорида галлия в соляной кислоте, в составе которого 30,3 т чистого галлия. Детектор установлен в тоннеле, в недрах горы Гранд Сассо (Италия), на глубине около 3 км от поверхности. Атомы радиоактивного германия (период полураспада 11,43 сут) выделялись из раствора в виде газа $^{71}\text{GeH}_4$ и направлялись в счётчик. За время наблюдений (1991–1997) в среднем регистрировалось $3/4$ события (т. е. поглощения электронного нейтрино) в сутки, что впервые прямо доказало протекание pp-реакции в ядре Солнца, но поток нейтрино оказался ниже расчётного. Причина этого расхождения выяснилась позже, когда на других детекторах был обнаружен эффект осцилляции нейтрино, т. е. частичного превращения одного его типа (например, электронного) в два других (мюонное и тау) по пути от Солнца к Земле.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР ICESUBE — черенковский детектор, созданный на Южном полюсе (станция «Скотт–Амундсен»), в толще антарктического льда, для регистрации космических нейтрино. Официальное на-

звание — IceCube Neutrino Observatory. В создании этой обсерватории принимают участие многие научные организации США, Западной Европы, Японии и других стран. В обсерватории IceCube в объёме одного кубического километра льда находится 5160 чувствительных детекторов света на основе ФЭУ, способных уловить ничтожные следы черенковского излучения, возникающего при прохождении через ледяную среду заряженных частиц, которые могут родиться в том редком случае, если космические нейтрино столкнутся с ядром атома вещества среды. Гирлянды фотодетекторов опущены на глубину от 1,5 до 2,5 км в вертикальные шахты, проделанные с помощью горячей воды. На большой глубине под большим давлением лёд чрезвычайно прозрачен, поэтому черенковские вспышки видны в нём на многие десятки метров. Сооружение детектора началось в 2005 г., а завершилось в конце 2010 г., когда в лед была замурована последняя гирлянда фотодетекторов. С этого момента IceCube стал крупнейшим нейтринным телескопом в мире.

НЕЙТРИННЫЙ ДЕТЕКТОР SAGE — радиохимический детектор, регистрирующий взаимодействие нейтрино с ядрами галлия-71, превращающимися при этом в радиоактивный германий-71. Детектор SAGE (Soviet–American Gallium Experiment) содержит 60 т жидкого галлия и размещён в глубоком тоннеле под Кавказом.

НЕЙТРИНО — элементарная частица с очень малой (долгое время считали, что нулевой) массой покоя, электрически нейтральная, со спином $1/2$. Относится к классу лептонов, участвует только в слабом и гравитационном взаимодействиях. Известны три типа нейтрино: электронное (ν_e), мюонное (ν_μ) и тау-нейтрино (ν_τ), соответствующие заряженным лептонам — электрону (e), мюону (μ) и тау-частице, или тритону (τ).

Нейтрино крайне слабо взаимодействует с веществом и поэтому легко проникает сквозь него, например, свободно проходит сквозь Солнце и Землю. Поэтому зарегистрировать нейтрино очень сложно. Рождаясь в ходе ядерных реакций в недрах звёзд, оно приносит нам прямую информацию о происходящих там физических процессах.

Гипотеза о существовании нейтрино была выдвинута в 1930 г. Вольфгангом Паули (1900–1958) для разрешения проблемы нарушения закона сохранения энергии при β -распаде радиоактивных ядер. Экспериментально нейтрино было впервые надёжно зарегистрировано в 1956 г. С момента открытия нейтрино его масса экспериментально не регистрировалась и поэтому считалась равной нулю. В этом случае частицы должны были двигаться со скоростью света и не могли распадаться или менять свой тип («осциллировать»). Созданный в 1967 г. под руководством Рэя Дэвиса (Брукхейвенская лаборатория, США) первый детектор солнечных нейтрино зарегистрировал поток ν_e в несколько раз ниже ожидаемого. В астрофизике возник «парадокс солнечных нейтрино» (1967–1997): либо внутреннее строение Солнца не соответствует расчётам, либо свойства нейтрино иные.

Первое свидетельство нейтринных осцилляций было получено в 1998 г. на установке Супер-Камиоканде (Япония): обнаружилось, что мюонные нейтрино, рожденные космическими лучами в верхних слоях атмосферы, исчезают с вероятностью, зависящей от пройденного ими пути. Оказалось, что мюонные нейтрино, которые этот детектор легко регистрирует, в результате осцилляций превращаются в тау-нейтрино, которые в большинстве своём избегают регистрации. Важное достоинство детектора Супер-Камиоканде — его способность регистрировать направление прихода нейтрино: именно так удалось доказать, что основной их поток приходит от Солнца. Первый нейтринный «портрет» Солнца был получен в 1998 г. при помощи данных, накопленных за 500 суток наблюдения (самая длительная экспозиция в истории астрономии). Угловой размер нейтринного изображения Солнца составил около 20° , хотя угловой размер горячего ядра Солнца, откуда выходят нейтрино, имеет на земном небе размер около $0,1^\circ$. «Размазанность» полученного изображения обусловлена не истинной формой источника нейтрино, а низкой разрешающей способностью детектора; центр нейтринного изображения совпадает с центром Солнца.

Парадокс солнечных нейтрино разрешила Садберийская нейтринная обсерватория (Канада) в 2002 г. Её детектор, используя тяжёлую воду D_2O , способен регистрировать солнечные нейтрино всех трёх типов. Оказалось, что многие электронные нейтрино, родившиеся в недрах Солнца, изменяют свой тип на пути к Земле, и поэтому они не регистрировались ранее. Значит, мы правильно представляем источник энергии Солнца, а нейтрино действительно обладают массой покоя (пока точно не измеренной, но не более $0,12$ электронвольт, т. е. $< 2 \cdot 10^{-37}$ кг).

НЕЙТРОН — элементарная частица, фундаментальная составляющая атомного ядра. В уравнениях ядерных реакций нейтрон обозначают буквой «n». Он электрически нейтрален, его масса $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27}$ кг, что эквивалентно энергии $m_n c^2 = 939,5654$ МэВ. Спин равен $1/2$ (фермион). Магнитный момент равен $-1,913$ ядерного магнетона. Характерное время жизни в свободном состоянии — 886 секунд (период полураспада 614 секунд). Наличие изотопов химических элементов связано с различным количеством нейтронов в ядрах соответствующих атомов.

НЕЙТРОННЫЕ ЗВЁЗДЫ — космические тела звёздной массы, в основном состоящие из нейтронов — нейтральных элементарных частиц, вместе с протонами составляющих атомные ядра. Гипотезу о существовании нейтронных звёзд выдвинули астрономы Вальтер Бааде и Фриц Цвикки сразу после открытия нейтрона в 1932 г., но наблюдательно подтвердить её удалось лишь после открытия радиопульсаров в 1967 г. Затем было установлено, что нейтронные звёзды проявляют себя так же, как рентгеновские пульсары (1971) и вспышечные источники рентгеновского излучения — барстеры (1975). Не исключено, что на одной из стадий существования нейтронные звёзды служат источниками γ -всплесков.

Нейтронные звёзды образуются в результате гравитационного коллапса ядер нормальных звёзд с массами в несколько раз больше $M_\odot$. Плотность нейтронной звезды близка к плотности атомного ядра, т. е. в 10^{14} раз выше плотности воды. Поэтому

при своей огромной массе нейтронная звезда имеет радиус всего около 10–20 км.

К 1984 г. было открыто около 400 нейтронных звёзд, из них около 20 в виде рентгеновских пульсаров, около 40 — в виде барстеров, а остальные — в виде обычных радиопулсаров. К 2020 г. обнаружено более 2500 нейтронных звёзд, в основном это радиопулсары, а также рентгеновские и оптические пульсары и барстеры.

Если придерживаться точного определения (см. *Звёзды*), то нейтронные звёзды не являются звёздами, поскольку в их недрах не протекают термоядерные реакции, поддерживающие светимость. Точнее было бы определять эти продукты эволюции звёзд как гидростатически равновесные небесные тела, вещество которых состоит в основном из нейтронов. В этом смысле удачное название получили белые карлики и чёрные дыры, которые также являются не звёздами, а лишь продуктом эволюции звёзд. Но термин «нейтронная звезда» уже вошёл в обиход, и альтернативы ему не видно.

Плотность и масса нейтронной звезды. Теория строения звёзд приводит к однозначной зависимости массы холодной, невращающейся и немагнитной звезды от её центральной плотности ρ_c . У этой зависимости можно выделить два участка, соответствующих устойчивым равновесным состояниям звёзд с резко различающимися значениями g_s . Участок $\rho_c < \rho_{c,w}$ описывает белые карлики, а участок $\rho_{c,min} < \rho_c < \rho_{c,max}$ — нейтронные звёзды. Плотность нейтронной звезды монотонно уменьшается от центра к периферии, тем не менее плотность подавляющей части вещества нейтронной звезды близка по порядку величины к плотности ядерной материи $\rho_n \approx 2,8 \cdot 10^{14}$ г/см³. Поэтому свойства вещества в недрах нейтронной звезды имеют много общего со свойствами вещества атомных ядер. Однако в целом нейтронную звезду нельзя рассматривать как гигантское атомное ядро. Обычное атомное ядро представляет собой квантово-механическую систему частиц (нуклонов), существование которой обусловлено действием ядерных сил, тогда как нейтронная звезда — макроскопический объект, находящийся в равновесии благодаря балансу

между сжимающей его силой тяжести (совершенно несущественной в атомном ядре) и перепадом давления от центра к поверхности, который противодействует сжатию.

Нейтрон в свободном состоянии неустойчив: он распадается на протон, электрон и нейтрино. Но при высоких плотностях вещества, характерных для нейтронных звёзд, нейтроны устойчивы, поскольку уже небольшой примеси протонов и электронов достаточно, чтобы в соответствии с принципом Паули воспрепятствовать распаду остальных нейтронов: все вакансии для протонов и электронов уже заняты.

Внутреннее строение нейтронной звезды (радиальное распределение g , T и других параметров) определяется зависимостью давления p холодного вещества от ρ , т. е. уравнением состояния $p(\rho)$ при нулевой температуре T , а также условиями гидростатического равновесия с учётом эффектов общей теории относительности (ОТО). Именно такие эффекты ОТО, как способность энергии создавать гравитационное поле и искривление пространства при наличии сильного гравитационного поля, определяют существование максимальной массы нейтронной звезды (так называемая масса Оппенгеймера — Волкова) M_{max} при конечной центральной плотности $\rho_{c,max}$. Численные значения M_{max} и $\rho_{c,max}$ зависят от вида уравнения состояния при сверхъядерных плотностях $\rho \geq \rho_n$, поскольку существенная часть вещества нейтронных звёзд с массами, близкими к M_{max} , оказывается сжатой именно до таких больших плотностей. Определение $p(\rho)$ в этом случае — очень сложная задача, для её решения необходимы детальные сведения о взаимодействии нейтронов, протонов и появляющихся при сверхъядерных плотностях мезонов и гиперонов.

Различные модели сверхплотного вещества приводят к $M_{max} = (1,4-2,7) M_\odot$ и $\rho_{c,max} = 2 \cdot 10^{15} - 10^{16}$ г/см³. Без учёта упомянутых эффектов ОТО и в предположении, что $p(\rho)$ определяется при любых плотностях вырожденным газом невзаимодействующих нейтронов, масса нейтронной звезды была бы ограничена значением $M_{max} = 5,73 M_\odot$ — так называемым пределом Чандрасекара для нейтронного га-

Характеристики нейтронной звезды с $M = 1,3 M_{\odot}$

Радиус	$R = 18\text{--}10$ км
Гравитационный радиус	$r_g \approx 4$ км
Плотность в центре	$\rho_c = 3 \cdot 10^{14}\text{--}2 \cdot 10^{15}$ г/см ³
Минимальный период вращения	$t_{\min} = (8\text{--}3) \cdot 10^{-4}$ с
Момент инерции	$I = (2\text{--}1) \cdot 10^{45}$ г·см ²
Гравитационное красное смещение для фотонов, покидающих поверхность нейтронной звезды	$z = 0,13\text{--}0,3$
Гравитационный дефект массы	$\Delta M = 0,1\text{--}0,14 M_{\odot}$ $\Delta Mc^2 = (1,8\text{--}2,5) \cdot 10^{46}$ Дж

за, причём $M_{\max}$ соответствовала бы бесконечной центральной плотности. Решение задачи о структуре нейтронной звезды с тем же уравнением состояния газа нейтронов, но в рамках ОТО, даёт $M_{\max} \approx 0,7 M_{\odot}$ и $r_{c,\max} \approx 6 \cdot 10^{15}$ г/см³. В данном случае эффекты ОТО уменьшают предельную массу нейтронной звезды более чем в 8 раз.

Экспериментальные данные физики высоких энергий показывают, что с уменьшением расстояния между нуклонами ядерные силы притяжения сменяются силами отталкивания. Поэтому при плотностях $\rho \geq \rho_n$ давление вещества оказывается больше, чем для газа невзаимодействующих нейтронов, способность вещества противодействовать сжимающей его силе тяжести увеличивается. В результате $M_{\max}$ повышается до указанных выше пределов $(1,4\text{--}2,7) M_{\odot}$. Кроме того, отталкиванием нуклонов с избытком компенсируется эффект, замедляющий рост давления с увеличением плотности, — рождение новых частиц (мезонов, гиперонов). Разброс предсказываемого значения $M_{\max}$ связан с трудностью построения количественной теории сверхплотного вещества. Обычно принимают $M_{\max} \approx 2 M_{\odot}$.

Минимальная масса нейтронной звезды $M_{\min} \approx 0,1 M_{\odot}$ ($r_{c,\min} \approx 2 \cdot 10^{14}$ г/см³). Плотность вещества внутри нейтронных звёзд с массами близкими к $M_{\min}$ меньше ядерной плотности. Используемое в этом случае уравнение состояния основано на богатом экспериментальном материале и даёт достаточно точное значение $M_{\min}$. Существование минимальной массы нейтронной звезды связано

с тем, что при низких плотностях нейтроны в силу их неустойчивости уже не могут быть преобладающим компонентом вещества.

Структура нейтронной звезды. Радиусы нейтронных звёзд уменьшаются с ростом их массы от $R \approx 100\text{--}200$ км при $M = M_{\min}$ до $R \approx 7\text{--}10$ км при $M = M_{\max}$.

Разброс величин в таблице (с. 210) отражает неопределённость уравнения состояния сверхплотного ($\rho \geq \rho_n$) вещества. Минимальный период вращения соответствует равенству гравитационной и центробежной сил на экваторе звезды. Гравитационное красное смещение z определяет относительное увеличение всех длин волн излучения с поверхности нейтронной звезды, регистрируемых далёким наблюдателем: энергия фотонов уменьшается в $(1+z)$ раз. Измерение красного смещения в рентгеновских и гамма-спектрах нейтронных звёзд (именно в этих диапазонах можно ожидать наиболее интенсивного излучения с их поверхности) представляет собой очень важную, хотя и трудную, задачу современной астрономии. В силу соотношения $1+z = (1 - r_g/R)^{-1/2}$ величина z однозначно определяет один из главных параметров нейтронной звезды — отношение гравитационного радиуса r_g к фактическому радиусу R . Другой важный параметр — гравитационный дефект массы ΔM — может быть в принципе измерен методами нейтринной астрономии, поскольку соответствующая ему энергия ΔMc^2 выделяется при образовании нейтронной звезды преимущественно в виде нейтрино.

Самые наружные слои нейтронной звезды состоят, по-видимому, из железа с возможной примесью Cr, Ni, Co. Атомные ядра ^{56}Fe в виде кристаллической решётки образуют твёрдую внешнюю кору нейтронной звезды. Плотность вещества быстро увеличивается вглубь звезды и на глубине около 1 км достигает $4 \cdot 10^{11}$ г/см³. При такой плотности основным компонентом вещества оказываются ядра железа и соседних с ним элементов в таблице Менделеева, сильно переобогащённые нейтронами. Появляется также некоторое количество свободных нейтронов. Поэтому под внешней корой нейтронной звезды находится твёрдая внутренняя кора, образованная атом-

ными ядрами, переобогащёнными нейтронами; в ней присутствуют также вырожденные электроны и малая примесь свободных нейтронов. Снизу внутренняя кора граничит с жидким ядром, состоящим в основном из вырожденных нейтронов с малой примесью вырожденных протонов и электронов.

Если центральная плотность нейтронной звезды превышает 10^{15} г/см³ (например, у нейтронных звёзд, массы которых близки к M_{max}), то вблизи центра звезды вещество содержит помимо нуклонов и электронов также мезоны, гипероны и другие элементарные частицы. Большое значение для физики нейтронных звёзд имеет сверхтекучесть нейтронного компонента вещества, возможная в жидком ядре и во внутренней коре, а также сверхпроводимость протонного компонента при плотности, близкой к ядерной.

Формирование нейтронной звезды происходит в процессе гравитационного коллапса на конечных стадиях эволюции достаточно массивных звёзд. Медленная, длящаяся десятки и сотни миллионов лет эволюция массивных равновесных звёзд (с массой, по крайней мере в несколько раз превышающей $M_{\odot}$) может привести к тому, что масса их центральных областей, сильно сжавшихся и исчерпавших запасы ядерного топлива, в некоторый момент окажется больше предела Чандрасекара $M_{\text{Ch}} \approx 1,4 M_{\odot}$ для белых карликов. В таком состоянии центральные области звезды не могут существовать долго: охлаждение и продолжающееся увеличение их массы нарушают баланс между силой тяжести и давлением. В результате центральная область звезды очень быстро (за несколько секунд или за доли секунды) сжимается до ядерных плотностей, одновременно подвергаясь процессу нейтронизации: рождается нейтронная звезда.

Массы образующихся таким путём нейтронных звёзд могут находиться в пределах $M_{\text{Ch}} \leq M < M_{\text{max}}$. Если появление нейтронной звезды сопровождается вспышкой сверхновой, значительная часть массы звезды выбрасывается в космическое пространство, что указывает на возможность образования нейтронных звёзд с массами $M < M_{\text{Ch}}$. Но образованию нейтронных звёзд, по-видимому,

не всегда сопутствует вспышка сверхновой: возможен «тихий» коллапс.

Другую возможность появления нейтронной звезды даёт эволюция белых карликов в тесных двойных системах. Перетекание вещества со звезды-компаньона на белый карлик постепенно увеличивает его массу, и, когда она достигает M_{Ch} , белый карлик превращается в нейтронную звезду. В этом случае $M < M_{\text{Ch}}$ (знак неравенства учитывает возможный сброс внешних слоёв белого карлика). Если перетекание вещества продолжается и после образования нейтронной звезды, её масса может со временем значительно возрасти. При $M > M_{\text{max}}$ нейтронная звезда потеряет устойчивость и в результате релятивистского гравитационного коллапса превратится в чёрную дыру.

Сильное сжатие центральных областей звезды при её переходе в нейтронную звезду (уменьшение радиуса примерно в 100 раз) сопровождается, в силу законов сохранения момента импульса и магнитного потока, резким возрастанием скорости вращения и величины магнитного поля. Тем самым получают естественное объяснение быстрое вращение пульсаров и их сильное магное поле по сравнению с обычными звёздами и белыми карликами. Однако центробежные и магнитные силы не столь велики, чтобы существенно влиять на общую структуру пульсаров. Поэтому строение нейтронных звёзд обычно рассматривают без учёта этих эффектов (например, пренебрегают отклонениями от сферической симметрии), а роль магнитного поля и вращения учитывают в различных процессах потерь энергии нейтронной звездой (таких, как изгибное излучение, синхротронное излучение, нейтринное и фотонное охлаждение).

Частота рождения нейтронных звёзд пока известна не очень хорошо из-за неопределённостей как в теории эволюции звёзд, так и в статистике пульсаров. Обычно принимают, что в Галактике одна нейтронная звезда возникает в среднем раз в 10 лет. Поскольку возраст Галактики $\sim 10^{10}$ лет, в ней должно содержаться около миллиарда нейтронных звёзд. К настоящему времени зарегистрирована лишь ничтожная их часть.

Исследование нейтронных звёзд. Определение масс нейтронных звёзд в тесных двойных системах (двойные пульсары, рентгеновские пульсары, барстеры) показало, что их наиболее вероятные значения лежат в пределах $(1-2) M_{\odot}$. Однако неопределённость в значениях массы ещё велика: для некоторых нейтронных звёзд не исключены массы $0,6 M_{\odot}$ и $2,5 M_{\odot}$. По-видимому, наиболее точно определена масса нейтронной звезды в системе двойного пульсара PSR 1913+16. Здесь оба компонента — нейтронные звёзды, причём одна из них — радиопулсар. Наблюдения за его движением (по моментам прихода импульсов) позволили очень точно измерить массы самого пульсара ($1,441 M_{\odot}$) и его компаньона ($1,387 M_{\odot}$).

Систематическое измерение периодов радиопулсаров (т. е. периодов вращения t нейтронных звёзд) показало, что их вращение постепенно замедляется. Однако на фоне почти монотонного возрастания t случаются небольшие скачкообразные уменьшения периода, а также совсем малые хаотические вариации t . Увеличение периодов пульсаров объясняется превращением кинетической энергии вращения в энергию излучения. Изменения t приводят к изменению центробежной силы и к накоплению напряжений в твёрдой коре пульсаров, что время от времени вызывает растрескивание коры, а иногда крупные разломы и звёздотрясения. Эти процессы служат причиной скачкообразных сбоев и незначительных вариаций периодов вращения. Временные характеристики изменений содержат важную информацию о свойствах твёрдой коры нейтронных звёзд и сверхтекучести их вещества (от сверхтекучести, например, зависит степень механического «сцепления» коры и жидкого ядра нейтронной звезды).

Наблюдения в рентгеновском диапазоне позволили определить эффективную температуру T_{eff} нейтронной звезды в Крабовидной туманности и в остатке вспышки сверхновой RCW 103, в обоих случаях $T_{\text{eff}} \approx 2 \cdot 10^6$ К. Были также установлены надёжные верхние пределы T_{eff} для нейтронных звёзд в ряде молодых остатков вспышек сверхновых. Эти наблюдения удовлетворительно согла-

суются с теорией охлаждения нейтронных звёзд, согласно которой нейтронные звёзды после образования должны очень долго оставаться горячими: сохранять $T_{\text{eff}} > 10^6$ К несколько десятков тысяч лет.

Скорость охлаждения нейтронной звезды зависит от влияния на её теплоёмкость и механизмы переноса энергии сверхтекучести, сверхпроводимости, магнитного поля и ряда других свойств сверхплотного вещества. Поэтому сопоставление теории остывания нейтронных звёзд с наблюдениями служит одним из эффективных способов исследования структуры нейтронных звёзд и физических свойств ядерной материи.

НЕПРАВИЛЬНАЯ ГАЛАКТИКА — галактика, имеющая асимметричную форму и клочковатую структуру, не характерную для типичных эллиптических или спиральных галактик. В различных системах морфологической классификации обозначаются как I, Ir или Irr (от англ. *irregular* неправильный). На профессиональном жаргоне астрономы иногда называют эти галактики также иррегулярными. По сравнению с нашей Галактикой неправильные галактики обычно имеют меньшие размер и массу, содержат много межзвёздного вещества и молодых звёзд. Они медленно вращаются и не демонстрируют сильной концентрации вещества к центру: балдж и ядро у них выражены слабо или отсутствуют. Пример неправильных галактик — Магеллановы Облака.

НЕПРАВИЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ — переменные звёзды, не имеющие определённого периода изменения блеска. Различают два типа таких звёзд: неправильные эруптивные звёзды и неправильные пульсирующие переменные. Механизмы изменения блеска обоих типов этих звёзд пока непонятны.

НЕПТУН — планета Солнечной системы, восьмая от Солнца, удалённая от него (в среднем) на 4491 млн км = 30,02 а. е. Период обращения вокруг Солнца около 165 лет. Видимая звёздная величина $7,6^m$, угловой диаметр $2,4''$. Нептун имеет экваториальный радиус (на уровне верхнего слоя облаков) 24764 км (в 3,88 раза больше радиуса Земли) и массу $1,028 \cdot 10^{26}$ кг (в 17,2 раза больше массы Земли). Средняя плотность $1,76$ г/см³. Атмосфера состоит из водорода (85% объёма)

и гелия (15%). Температура верхнего облачного слоя -214°C . Под плотной атмосферой находится протяженная ледяная мантия и металло-силикатное ядро. Период осевого вращения 16 ч 07 мин; вращение прямое. Нептун окружен тонкими кольцами и системой из 14 спутников (данные 2020 г.). Из них Тритон принадлежит к числу крупнейших в Солнечной системе (радиус 2000 км); он имеет обратное обращение вокруг планеты.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, которые характеризуются заметным изменением физического состояния внешних слоёв за сравнительно короткие интервалы времени (как правило, от нескольких минут до нескольких лет), что проявляется в изменении их спектров. Обычно к нестационарным звёздам относят только звёзды с ярко выраженными особенностями спектра, прежде всего с присутствием и изменением со временем эмиссионных линий (т. е. линий излучения). Звёзды, у которых меняется блеск и цвет, принято относить к переменным звёздам. Однако одна и та же звезда может рассматриваться как переменная, когда имеются в виду изменения её блеска, и как нестационарная звезда, когда речь идёт о более тонких спектральных характеристиках. В строгом смысле нестационарными являются даже звёзды, кажущиеся вполне стабильными, как, например, Солнце, поскольку в самых внешних его слоях (хромосфере, короне) постоянно происходят изменения. Но вклад этих слоёв в интегральное излучение Солнца невелик.

К нестационарным звёздам относят весьма различные по свойствам объекты: звёзды спектрального класса В с эмиссионными линиями в спектре (их обозначают Ве), звёзды Вольфа — Райе (WR), переменные звёзды типа эруптивных (взрывающихся) — сверхновые звёзды, новые звёзды, вспыхивающие звёзды типов UV Кита, Т Тельца и др. Общее число нестационарных звёзд в Галактике велико: число звёзд Ве составляет примерно $1/10$ известных звёзд класса В, а звёзды типа UV Кита вообще составляют значительную часть всех звёзд Галактики.

Процессы, протекающие во внешних слоях звёзд типов Ве и WR, отличаются сравнительной простотой и исследова-

ны более полно, чем у других нестационарных звёзд. У этих звёзд наблюдается выброс вещества. У звёзд Ве скорость выброса не превышает десятков километров в секунду, и мощность выброса сравнительно невелика — за год звезда теряет массу около $10^{-7} M_{\odot}$. Выбросы вещества приводят к образованию вокруг звёзд Ве газовых оболочек. Звёзды класса В горячие, в их излучении содержится много фотонов УФ-диапазона спектра, которые в оболочке «перерабатываются» в фотоны оптического диапазона: УФ-фотоны ионизируют атомы оболочки, а после рекомбинации в атомах происходят каскадные переходы, порождающие оптические линии спектра.

Сходным образом возникают яркие линии в спектрах звёзд Вольфа — Райе. Эти звёзды также имеют оболочки, но так как скорости выброса газа из звёзд WR составляют 1–2 тыс. км/с и за год выбрасывается масса до $10^{-5} M_{\odot}$, то их оболочки более плотны и непрозрачны, чем у звёзд Ве. В них высокоэнергичные фотоны практически полностью перерабатываются в фотоны оптического диапазона. Так как интенсивное выбрасывание вещества не может продолжаться очень долго (масса звезды при этом быстро уменьшается), звёзды типов WR и Ве считают молодыми. Возраст первых $\sim 10^6$ лет, вторых — $\sim 10^7$ – 10^8 . О молодости звёзд WR и Ве свидетельствует и нахождение их большей частью в составе молодых систем — звёздных ассоциаций.

В спектрах симбиотических звёзд — сравнительно немногочисленного класса нестационарных звёзд — сочетаются особенности горячих звёзд (эмиссионные линии) с характерными чертами холодных звёзд (молекулярные полосы поглощения). Считается, что эти звёзды представляют собой двойные системы, состоящие из горячего и холодного компонентов. В системе имеется много газа, по-видимому, выброшенного звёздами, так что звёзды системы погружены в общее газовое облако. Излучение горячей звезды возбуждает свечение газа, и эмиссионный спектр облака накладывается на спектр поглощения более холодной звезды. Активность такой системы звёзд выражается в происходящих время от

времени вспышек, при которых возрастает блеск горячей звезды и, вероятно, с неё сбрасывается оболочка. Эта оболочка, расширяясь, пополняет вещество околозвездного газового облака.

Эруптивные звёзды малой светимости типа UV Кита характеризуются быстрыми изменениями блеска. Менее чем за 1 мин блеск звезды возрастает в десятки раз и за 10–15 мин спадает до первоначального. Такие вспышки происходят по несколько раз в сутки, а более слабые — каждые час-полтора. Общее число вспыхивающих звёзд типа UV Кита в Галактике должно быть очень велико, видны же только ближайшие к Солнцу.

Звёзды типа UV Кита — холодные карлики с температурой поверхности 2500–3000 К и радиусом в 5–10 раз меньшим, чем у Солнца. Они находятся в стадии сжатия и выхода на главную последовательность, причём стадия сжатия у таких звёзд (с массой в десятки раз меньше солнечной) продолжается миллиарды лет. Такая звезда излучает всего около 10^{23} Вт, основная доля этой энергии приходится на ИК диапазон. Дополнительная энергия, излучаемая в оптической области спектра за время сильной вспышки, составляет 10^{26} – 10^{27} Дж, т. е. достигает энергии, излучаемой Солнцем за 1 с. По общей энергии вспышки звёзд типа UV Кита на один-два порядка превосходят сильные вспышки на Солнце, но по ряду характеристик эти вспышки очень близки друг к другу. Сходство этих явлений состоит ещё и в том, что они охватывают внешние разреженные слои атмосферы звезды, прозрачные для излучения почти всех длин волн. Поэтому энергия вспышки беспрепятственно уносится излучением из области вспышки и атмосфера остывает очень быстро. Если бы вспышка захватывала фотосферу, то нагретая область фотосферы должна была бы охлаждаться гораздо медленнее, чем это наблюдается у звёзд типа UV Кита.

Во время вспышек на Солнце отмечают всплески радиоизлучения. Аналогичное явление имеет место и при вспышках звёзд типа UV Кита, причём у них энергия радиоизлучения лишь в 100–1000 раз меньше оптической, тогда как при вспышках на Солнце это отношение $\sim 10^5$. Данные наблюдений

лучше всего согласуются с предположением о том, что излучение при вспышке звезды типа UV Кита представляет собой свечение разреженного нагретого газа. Наиболее же интересный вопрос об источнике энергии вспышки и механизме нагрева газа до конца не выяснен. Возможно, источник вспышки связан с конвекцией, которая очень сильна у сжимающихся холодных звёзд. Конвекция создаёт магнитное поле сложной структуры, энергия которого в определённых условиях может освобождаться и трансформироваться в энергию вспышки.

Изменения блеска нестационарных звёзд типа Т Тельца совершенно нерегулярны. Возрастание блеска может происходить с самой различной скоростью, а продолжительность колебания блеска варьирует от нескольких часов до нескольких суток. Эти сравнительно холодные звёзды (с температурой, близкой к солнечной) имеют в спектре много эмиссионных линий. Из звёзд типа Т Тельца происходит выбрасывание вещества, и эти звёзды, как правило, находятся в облаках газа — диффузных туманностях или в непосредственной близости от них.

Причины колебаний блеска звёзд типа Т Тельца полностью не выяснены. Ясно, что освобождение энергии при вспышке происходит не в атмосфере звёзд, а в более глубоких слоях. Особенность звёзд типа Т Тельца в том, что почти все они входят в состав звёздных ассоциаций. Следовательно, они очень молоды: им всего несколько миллионов лет, и их нестационарность может быть вызвана остаточными явлениями звёздообразования. Возможно, их вспышки тоже связаны с конвекцией, которая сильна в этих звёздах, более массивных, чем UV Кита, но также находящихся в процессе сжатия.

Нетепловое излучение — электромагнитное излучение, генерация которого происходит в неравновесных условиях. Обычно различают три основных типа неравновесного излучения. Первый тип — излучение, испускаемое при свободно-свободных, связанно-свободных и связанно-связанных переходах в условиях, когда вещество не находится в локальном термодинамическом равновесии. В равновесных условиях эти же процессы генерируют тепловое излучение.

Излучающее вещество всегда оказывается в неравновесном состоянии (и генерирует неравновесное излучение), если время его термализации (характерное время достижения равновесного распределения частиц по энергиям) превышает время потерь энергии на излучение. Излучательная способность неравновесной плазмы отличается от величины, определяемой законом Кирхгофа. Для её определения необходимо знать неравновесную функцию распределения излучающих частиц по энергиям. Неравновесное излучение этого типа может генерироваться при аккреции плазмы на компактные объекты. Спектр неравновесного излучения даже оптически толстого слоя не может быть чернотельным. Однако сам факт отличия спектра от планковского ещё не указывает однозначно на нетепловую природу излучения.

Неравновесное излучение второго типа генерируется процессами, которые происходят только в неравновесных условиях. Оно обычно связано с неустойчивостями и коллективными процессами в плазме. Яркая температура этого излучения может быть очень велика. Пучковая неустойчивость в короне приводит к генерации нетеплового радиоизлучения Солнца. С плазменными неустойчивостями связывают излучение пульсаров. Оценка его яркостной температуры лежит в пределах 10^{23} – 10^{31} К.

Неравновесное излучение третьего типа генерируется при движении релятивистских заряженных частиц во внешних полях. К этому типу относятся синхротронное излучение, изгибное излучение; сюда же следует отнести разные типы переходного излучения. Спектр излучения этого типа определяется распределением релятивистских частиц по энергиям. Источниками синхротронного излучения служат остатки сверхновых, пульсары и другие объекты, в которых происходит ускорение частиц до релятивистских энергий. Считается, что изгибное излучение также играет важную роль в механизме излучения пульсаров.

НОВЫЕ (звёзды) — звёзды, неожиданно, всего за несколько часов, увеличивающие свой блеск в тысячи и даже миллионы раз (в среднем на 12^m), а затем в течение не-

скольких недель тускнеющие и возвращающиеся к своему исходному блеску. Название «новая» (лат. *Nova*) отражает старинное представление о том, что на небе в этот момент возникает не существовавшая ранее звезда. В действительности явление новой связано со звёздами большого возраста, практически закончившими свою эволюцию. Это явление возникает в тесных двойных системах, где один из компонентов — вырожденная звезда (белый карлик или нейтронная звезда). На определённом этапе эволюции таких систем вещество второго компонента — нормальной звезды — может начать перетекать на соседнюю вырожденную звезду. Когда на поверхности белого карлика (или на магнитосфере нейтронной звезды) накапливается критическая масса вещества, происходит термоядерный взрыв, срывающий со звезды оболочку и увеличивающий её светимость в тысячи раз. По мере накопления новой порции газа взрыв повторяется. Уже наблюдались неоднократные вспышки некоторых новых; их называют повторными новыми.

НОВЫЙ ОБЩИЙ КАТАЛОГ (New General Catalog, NGC) — Каталог незвёздных объектов, т. е. газовых туманностей, звёздных скоплений и галактик, опубликованный в 1888 г. Джоном (Йоханом) Дрейером (1852–1926) и основанный на предшествующих работах Джона Гершеля (1792–1871) и других наблюдателей. С дополнениями, опубликованными позднее, каталог включает данные о более чем 13 000 объектов. Многие галактики, туманности, скопления известны по их номерам в NGC. Например, известная Крабовидная туманность обозначается как NGC 1952 (а также M1 по каталогу Мессье).

НУТАЦИЯ (лат. *nutatio* колебание) — колебательное движение оси собственного вращения тела, происходящее одновременно с прецессией, при котором изменяется угол между осью собственного вращения тела и осью, вокруг которой происходит прецессия. В астрономии нутацией обычно называют небольшие покачивания оси вращения Земли в пространстве, накладывающиеся на её конусообразное прецессионное движение. Как и прецессия, нутация вызвана гравитационным влиянием Луны и Солн-

ца. Основной компонент нутации имеет период 18,6 года и амплитуду 9". Кроме этого, имеется множество других гармоник малой амплитуды.



ОБИЛИЕ (химических элементов) — их относительное содержание. В астрономии обычно приводят отношение концентрации элемента (числа атомов и ионов данного элемента в единице объёма) к концентрации наиболее распространённого во Вселенной элемента — водорода. Иногда обилие выражают в долях массы единицы объёма вещества, т. е. как отношение массы данного элемента в единице объёма к полной массе вещества в этом объёме. В этом случае обилие водорода часто обозначают буквой X , обилие гелия — буквой Y и суммарное обилие более тяжёлых элементов — буквой Z . По определению, $X + Y + Z = 1$. В фотосфере Солнца $X = 0,735$; $Y = 0,249$; $Z = 0,017$.

ОБЛАКО ООРТА (или облако Эпика—Оорта) — внешняя область Солнечной системы, простирающаяся приблизительно от 2 тыс. до 200 тыс. а. е. от Солнца. Предполагается, что в этой области движутся многие миллиарды небольших холодных тел — ядер комет. Внутреннюю часть облака Оорта радиусом от 2 тыс. до 20 тыс. а. е. обычно называют облаком Хиллса. У объектов в этой области гравитационная связь с Солнцем довольно прочная, поэтому приливное влияние соседних звёзд и Галактики в целом не оказывают на них серьёзного влияния. На расстоянии более 20 тыс. а. е. объекты облака Оорта слабо связаны с Солнцем и легко меняют свои орбиты под влиянием гравитационных возмущений со стороны околосолнечных звёзд. На расстоянии более 150–200 тыс. а. е. притяжение к Солнцу становится слабее приливного влияния Галактики и поэтому не способно удерживать объекты. Это внешняя гравитационная граница Солнечной системы.

ОБЛАСТЬ НII — пространство вокруг горячей звезды, в пределах которого основной компонент межзвёздной среды — водород (H) — практически полностью ионизован УФ-излучением этой звезды. Название связано с тем, что в спектроскопии ней-

тральный атом обозначают цифрой I, а многократно ионизованный — цифрой II. Если плотность ионизованного водорода в облаке достаточно высока (10^2 – 10^4 атомов/см³), то оно ярко светится в оптическом диапазоне и его называют эмиссионной туманностью. Например, такова туманность Ориона, поперечником около 8 пк, ионизованная несколькими находящимися внутри неё горячими молодыми звёздами.

Заметную область НII способны создать вокруг себя только звёзды спектрального класса O и B, имеющие температуру более 20 000 К. Если в недрах крупного межзвёздного облака рождается сразу много звёзд, то область НII вокруг них может приобрести гигантский размер. Например, в соседней галактике Большое Магелланово Облако вокруг очень крупного скопления молодых массивных звёзд наблюдается эмиссионная туманность Тарантул поперечником более 400 пк и массой несколько миллионов масс Солнца. В любой галактике области НII указывают места массового формирования звёзд.

ОБЛАСТЬ ИЗОПЛАНТИЗМА — область на небесной сфере, в пределах которой адаптивная оптика способна компенсировать отрицательное влияние атмосферной турбулентности, «размывающее» изображение объекта. Типичный радиус области изопланатизма в видимом диапазоне составляет несколько угловых секунд.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ЗВЁЗД ПО ФЛЕМСТИДУ — система звёздной номенклатуры, впервые введенная в каталоге Джона Флемстида (1646–1719), опубликованном в 1725 г. В пределах каждого созвездия Флемстид обозначил звёзды номерами в порядке увеличения прямого восхождения этих звёзд, например, 57 UMa, 88 Leo, 15 Pic. Это создало удобство (в отличие от обозначений по Байеру) при наблюдении последовательного прохождения звёзд данного созвездия через небесный меридиан.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД. Существуют различные системы для их обозначения, поэтому некоторые переменные звёзды имеют несколько обозначений. Наиболее распространённый подход — расширение системы обозначений по Байеру: пе-

ременные в пределах данного созвездия обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, начиная с R для самой яркой переменной. По исчерпанию латинских заглавных букв (которых от R до Z всего девять) используются удвоенные заглавные буквы: следующие девять переменных в созвездии обозначаются сочетаниями от RR до RZ, затем — от SS до SZ, затем — от TT до TZ, и так далее до ZZ, что даёт в сумме 54 варианта наименований. После исчерпания этих вариантов для наименования используются двухбуквенные последовательности от AA до AZ, от BB до BZ, от CC до CZ, ..., от QQ до QZ. Таким образом, общий «резерв» обозначений переменных для созвездия составляет 334 наименования; к обозначению переменной звезды добавляется сокращённое латинское название созвездия, например S Cyg, RR Lyr, FG Sge и т. п. При большем количестве переменных используется упрощённая нумерация, в которой переменная обозначается латинским V и порядковым номером переменной, начиная с 335, например, V861 Sco, V444 Cyg, V432 Her и т. п.

Для обозначения пульсаров и других специальных групп переменных объектов иногда используются другие системы обозначений. Обычно используются обозначения, показывающие тип объекта, с добавлением цифр, являющихся приближёнными экваториальными координатами объекта. Например, из обозначения пульсара PSR 1257+12 следует, что его приближённые координаты равны $\alpha = 12^{\text{h}} 57^{\text{m}}$ и $\delta = +12^{\circ}$.

ОБРАТНОЕ ДВИЖЕНИЕ — то же, что *Попятное движение*.

ОБСЕРВАТОРИЯ — научная организация или её отделение, проводящая регулярные наблюдения за каким-либо природным явлением: метеорологическая обсерватория, геомагнитная обсерватория, сейсмологическая обсерватория, астрономическая обсерватория. Часто термин «обсерватория» используют в узком смысле — для обозначения здания (башни или павильона), где установлен научный прибор, обеспечивающий наблюдения, например телескоп. Обсерваториями называют и специализированные космические аппараты для выполнения астрономических наблюдений (рент-

геновская обсерватория «Чандра», инфракрасная обсерватория «Спитцер»).

ОБСЕРВАТОРИЯ «КАВКАЗСКАЯ ГОРНАЯ»

ГАИШ МГУ (КГО) — астрономическая обсерватория Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Расположена в центральном секторе Большого Кавказа на высоте 2100 м в урочище «Шатджзатмаз» в 27 км от г. Кисловодск. Главный инструмент — оптический телескоп диаметром 2,5 м.

ОБСЕРВАТОРИЯ ВЕРХНЕГО ПРОВАНСА

(Observatoire de Haute Provence) — астрономическая обсерватория на юге Франции, в 90 км к востоку от Авиньона и в 100 км к северу от Марселя, близ деревни Сан-Мишель-Обсерватуар (департамент Alpes-de-Haute-Provence) на высоте 650 м. Основана в 1937 г. В 1943 г. начались наблюдения с 1,2-метровым рефлектором постройки 1872 г., перевезённым из Парижской обсерватории. Позже были установлены телескопы диаметром 0,8; 1,52 и 1,93 м, а также несколько телескопов других организаций, например 1-метровый рефлектор Женевской обсерватории. Крупнейший инструмент, кассеогеновский 1,93-метровый рефлектор, установлен в 1958 г. на экваториальной монтировке английского типа (с двумя колоннами, поддерживающими часовую ось). Наибольшую известность обсерватории принесло открытие в 1995 г. первой экзопланеты 51 Peg, которое сделали швейцарские астрономы Мишель Майор и Дидье Кело, используя 1,93-метровый телескоп и уникальный эшелле-спектрограф ELODIE, созданный ими совместно с André Baranne (Марсельская обсерватория). Спектрограф установлен в термостатированном помещении и получает свет по оптоволоконной линии из кассеогеновского фокуса телескопа. Уникальная система цифровой кросс-корреляции позволяет достигать на нём точности измерения лучевой скорости ± 7 м/с. В 2006 г. его заменил более современный спектрограф SOPHIE. Его точность при однократном измерении 1,3 м/с, а при длительных сериях 2 м/с.

ОБСЕРВАТОРИЯ КИТТ-ПИК — национальная обсерватория США на горе Китт-Пик

(Kitt Peak) в штате Аризона на высоте 2100 м. Располагает 4-метровым телескопом «Мейол» системы Ричи—Кретьена, 3,5-метровым телескопом WIYN системы Ричи—Кретьена, 2,1-метровым оптическим телескопом, а также рядом других оптических и радиотелескопов. Среди них крупнейший в мире солнечный телескоп «МакМат—Пирс» (McMath—Pierce) в наклонной башне, с главным зеркалом диаметром 1,6 м.

ОБСЕРВАТОРИЯ ЛА-СИЛЬЯ — площадка Европейской южной обсерватории на горе Ла-Силья (La Silla) в Чили на высоте 2400 м. Работает с 1963 г. Крупнейшие телескопы — рефлекторы диаметром 3,6 м и 3,5 м (Телескоп новой технологии, NTT). Несколько инструментов диаметром от 1 до 2,2 м и Шведский радиотелескоп SEST субмиллиметрового диапазона диаметром 15 м.

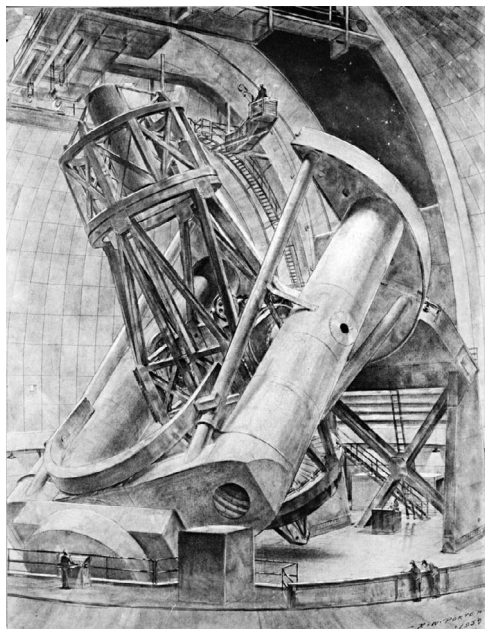
ОБСЕРВАТОРИЯ ЛАС-КАМПАНАС — обсерватория Института Карнеги (Вашингтон) на горе Сьерро Лас-Кампанас в чилийской пустыне Атакама, на высоте 2400 м. Работает с 1971 г. Крупнейшие инструменты: два расположенных рядом телескопа «Магеллан» диаметром по 6,5 м каждый, 100-дюймовый (2,5 м) телескоп «Дюпон», 1,3-метровый рефлектор Варшавского университета, 4-метровый радиотелескоп миллиметрового диапазона и др. Строится «Гигантский телескоп Магеллана» (Giant Magellan Telescope), у которого на единой монтировке будет 7 зеркал диаметром по 8,4 м каждое, что по светособирающей площади эквивалентно объективу диаметром 21,4 м, а по угловому разрешению — объективу диаметром 24,5 м. Система адаптивной оптики позволит ему достигнуть углового разрешения $0,2''$ – $0,3''$ на длине волны 500 нм.

ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНА КЕА расположена на вершине потухшего вулкана Мауна Кеа (Mauna Kea) на о. Гавайи (США) на высоте 4200 м. Это место считается практически идеальным для астрономических наблюдений на поверхности Земли: оно расположено близ экватора, выше основного облачного слоя, имеет низкую влажность и минимальную засветку неба. Чистый и спокойный воздух позволяет получить прекрасное качество изображений. Там размещены многие крупные телескопы оптического, милли-

метрового и радиодиапазонов, включая оптические телескопы «Кек», «Джемини Северный», «Субару» диаметрами 8–10 м, а также 15-метровый радиотелескоп «Джеймс Клерк Максвелл» субмиллиметрового диапазона. Там находится одна из 25-метровых параболических антенн межконтинентального радиоинтерферометра VLBA, 3,8-метровый инфракрасный телескоп UKIRT (United Kingdom InfraRed Telescope).

ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНТ-ГРЭХЕМ — оптическая и радиоастрономическая обсерватория на горе Маунт-Грэхем (Mount Graham) на юго-востоке Аризоны (США) на высоте 3300 м. Её официальное название — Mount Graham International Observatory (MGIO). Это отделение Стюардовской обсерватории, принадлежащей Аризонскому университету. Крупнейший инструмент — Большой бинокулярный телескоп LBT с двумя монолитными зеркалами диаметром по 8,4 м каждое, укрепленных на одной монтировке. С 2008 г., имея эквивалентный диаметр объектива около 12 м, он стал крупнейшим в мире.

ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНТ-ПАЛОМАР — оптическая обсерватория Калифорнского технологического института (США), частично финансируется Лабораторией реактивного движения и Корнельским университетом. Расположена на горе Маунт-Паломар (Mount Palomar) в Калифорнии, в 140 км к юго-востоку от обсерватории Маунт-Вилсон, на высоте 1700 м. Крупнейший инструмент — 200-дюймовый (5 м) телескоп «Хейл», сооруженный по инициативе Джорджа Хейла на средства Фонда Рокфеллера. Этот телескоп начал работать в 1948 г. и в течение трёх десятилетий оставался крупнейшим телескопом в мире. С ним связано множество открытий в галактической и внегалактической астрономии. Фактически он был самым эффективным телескопом вплоть до 1992 г., когда начали работать телескопы «Кек». Модернизация приёмной аппаратуры 200-дюймового телескопа позволяет ему и в начале XXI в. оставаться весьма эффективным инструментом. Паломарская обсерватория располагает также 60-дюймовым (1,5 м) рефлектором и 48-дюймовой (1,2/1,8 м) камерой Шмидта, выполнившей в середине XX в. первый глубокий обзор не-



Вид 200-дюймового телескопа «Хейл» с юго-востока. Рисунок Р. У. Портера, выполненный по рабочим чертежам в 1939 г.

ба — Паломарский обзор, который открыл эру массового изучения галактик. В 1995–2009 гг. на обсерватории работал Опытный звёздный интерферометр ближнего инфракрасного диапазона — прообраз более крупного интерферометра, созданного на базе телескопов «Кек».

ОБСЕРВАТОРИЯ РОКА-ДЕ-ЛОС-МУЧАЧОС (Observatorio del Roque de los Muchachos, ORM) — международная оптическая обсерватория на вулканическом острове Ла Пальма (Канарские острова, Испания), высота 2400 м. Действует с 1979 г., когда там был установлен английский 2,5-метровый телескоп «Исаак Ньютон». Позже были установлены телескопы «Ливерпуль» (2 м), «Вильям Гершель» (4,2 м), «Северный оптический» (2,6 м), итальянский Национальный телескоп «Галилео» (3,6 м) и несколько инструментов метрового калибра, среди которых башенный Шведский солнечный вакуумный телескоп (1 м). Крупнейший инструмент — Большой канарский телескоп (Gran Telescopio Canarias) с мозаичным зеркалом диаметром 10,4 м начал наблюдения в 2009 г. На обсерватории с 1987 по 2002 гг. функционировала система черенковских

детекторов γ -лучей HEGRA (High-Energy-Gamma-Ray Astronomy), которую в 2004 г. заменил черенковский телескоп MAGIC (Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope) с коллектором диаметром 17 м. В 2009 г. на расстоянии 85 м от него установлен ещё один такой же инструмент. Эта стереосистема картирует космическое гамма-излучение в диапазоне энергий от 50 ГэВ до 30 ТэВ.

ОБСЕРВАТОРИЯ САЙДИНГ-СПРИНГ вместе с обсерваторией Маунт-Стромло принадлежит Национальному австралийскому университету. Расположена в горах Siding Spring близ Кунабарабран (Новый Южный Уэльс, Австралия) на высоте 1165 м. Среди её 12 инструментов крупнейшие: 3,9-метровый Англо-австралийский рефлектор, 2-метровый Южный телескоп Фолкеса, 1,24/1,8-метровая камера Шмидта, 2,3-метровый Телескоп прогрессивной технологии. При этом Англо-австралийский телескоп и камера Шмидта находятся под управлением Австралийской астрономической обсерватории.

ОБСЕРВАТОРИЯ СЕРРО-ПАРАНАЛ (Cerro Paranal observatory) — комплекс Европейской южной обсерватории на горе Серро-Паранал (высота 2640 м) в Чилийских Андах, где с 2000 г. функционирует Очень большой телескоп (VLT) с четырьмя 8,2-метровыми инструментами и несколькими вспомогательными. Там же с 2010 г. работает телескоп VISTA диаметром 4 м, а также Обзорный телескоп VLT (VLT Survey Telescope, VST) диаметром 2,6 м, созданный в кооперации ESO и Астрономической обсерваторией Каподимонте (Неаполь, Италия).

ОБСЕРВАТОРИЯ СЕРРО-ПАЧОН (Cerro Pachon observatory) — расположена на высоте 2730 м на горе Сьерро-Пачон в Чилийских Андах, в 10 км на юго-восток от Межамериканской обсерватории Серро-Тололо. Функционируют два больших телескопа: Джемини-южный диаметром 8,1 м и Южный астрофизический исследовательский телескоп (Southern Astrophysical Research Telescope, SOAR) диаметром 4,1 м. Строится Большой обзорный телескоп (Large Synoptic Survey Telescope, LSST) диаметром 8,4 м с уникальной оптической системой и полем зрения диаметром 3° при угловом разрешении $0,7''$.

ОБСЕРВАТОРИЯ ТЕЙДЕ (Observatorio del Teide) — обсерватория Института астрофизики на Канарах (Испания) на о. Тенерифе (Канарские острова, Испания), на высоте 2390 м. Основана в 1964 г. как международная научная площадка, имеющая исключительно благоприятный астроклимат. Крупнейшие солнечные инструменты: немецкий вакуумный телескоп «Solar Vacuum Tower Telescope» (VTT) диаметром 70 см и франко-итальянский телескоп THEMIS (90 см). Крупнейшие ночные инструменты: английский инфракрасный телескоп (1,52 м), немецкие телескопы-роботы STELLA I и II (1,2 м) и телескоп Европейского космического агентства для связи со спутниками (1 м). Кроме этого, функционирует несколько радиоинтерферометров микроволнового диапазона и оптические телескопы малого диаметра.

ОБЩИЙ КАТАЛОГ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД (General catalogue of variable stars) — классический каталог переменных звёзд, созданный и регулярно обновляемый сотрудниками Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ) и Института астрономии Российской академии наук (ИНАСАН) в Москве. Каталог содержит данные о более чем 50 тыс. галактических переменных звёзд, более чем 10 тыс. внегалактических объектов, около 1000 сверхновых. Бумажная версия каталога последний раз публиковалась в 1985–1995 гг. Текущая электронная версия доступна по адресу <http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/>.

ОБЪЕКТИВ — основной оптический компонент телескопа (а также фотокамеры, зрительной трубы, бинокля и многих других оптических приборов), служащий для сбора света и построения изображений объектов наблюдения. Объективом телескопа-рефрактора служит комбинация линз; объективом телескопа-рефлектора служит вогнутое зеркало, в зеркально-линзовых (катадиоптрических) системах роль объектива играет комбинация линзовых и зеркальных элементов.

ОБЪЕКТЫ, СБЛИЖАЮЩИЕСЯ С ЗЕМЛЁЙ (OC3; near-Earth objects, NEO) — астероиды и кометы, орбиты которых имеют перигелийное расстояние $q < 1,3$ а. е. По данным

NASA, к 2021 г. было зарегистрировано более 20 000 таких объектов, из них 110 комет, остальные — астероиды, в их числе 2040 потенциально опасных для Земли.

ОБЪЕКТЫ ТИПА ВЛ ЩИТА (BL Lac) — см. *Лакертиды*.

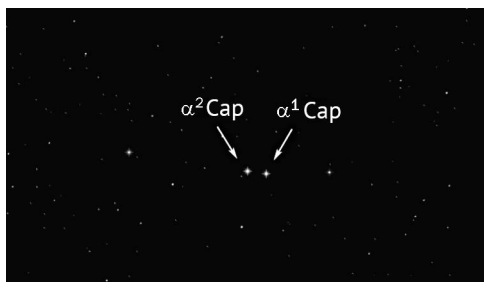
ОВЕН — осенне-зимнее созвездие, лежащее к западу от Тельца. Овен (т. е. баран) — одно из наиболее известных созвездий Зодиака, хотя в нём нет звёзд ярче второй величины. Причина в том, что в античные времена именно в Овне лежала точка весеннего равноденствия, которую до сих пор отмечают знаком Овна (♈). Но в нашу эпоху Солнце входит в созвездие Овна уже не 21 марта, как раньше, а 18–19 апреля.

Шумеры называли Овен «созвездием барана». Согласно древнегреческому мифу, это златорунный баран, который спас Фрикса и Геллу от их мачехи Ино и нёс их в Колхиду, но Гелла, сорвавшись, утонула в водах пролива, названного по её имени Гелеспонтом (ныне Дарданеллы). Фрикс добрался до Колхиды, принёс барана в жертву, а золотое руно подарил приютившему его царю Ээту, который повесил шкуру на дереве в роще, охраняемой драконом. Именно за этим золотым руном путешествовали аргонавты.

ОКТАНТ — небольшое южное созвездие, введённое Н. Лакайлем. Угломерный инструмент октант — «меньший брат» секстанта, имеющий оцифрованную шкалу в $1/8$ окружности. А созвездие Октант — поворот Малой Медведицы, поскольку именно в нём лежит южный полюс мира (а не в Южном Кресте, как иногда неверно полагают). На старых небесных картах его можно найти под названием Отражательный Октант, ибо, как и морской секстант, он был снабжен зеркальцем. Созвездие невыразительное; оно не содержит звёзд ярче 4-й величины. Южный полюс мира располагается приблизительно между двумя его ярчайшими звёздами — β и δ .

ОППОЗИЦИЯ — то же, что *Противостояние*.

ОПТИЧЕСКАЯ ДВОЙНАЯ — две звезды, случайно расположенные на небе рядом друг с другом, не имеющие между собой физической связи и находящиеся на разном расстоянии от нас.



Оптическая двойная звезда $\alpha^1 + \alpha^2$ Козерога

ОПТИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН — область спектра электромагнитного излучения, охватывающая ближний инфракрасный, видимый и ближний ультрафиолетовый диапазоны. Длина волны излучения оптического диапазона лежит в пределах от 300 нм до примерно 5 мкм. Для наблюдений в оптическом диапазоне используется такое же (или близкое по конструкции) оборудование, как и в видимом диапазоне спектра — телескопы, оптические системы, детекторы и т. п.

ОПТИЧЕСКОЕ ОКНО — 1) диапазон длин волн электромагнитного излучения, в котором атмосфера Земли практически прозрачна. Оптическое окно прозрачности простирается от 300 нм до приблизительно 2 мкм с дальнейшим рядом узких окон в инфракрасном диапазоне (между полосами поглощения молекул); 2) окно из стекла или другого оптически прозрачного материала, обе поверхности которого являются плоскостями с точностью до $1/8$ рабочей длины волны и параллельны друг другу. Подобные окна используют для закрывания (герметизации) входной апертуры инструмента.

ОРБИТА — траектория небесного тела в пространстве. Различают абсолютные и относительные орбиты. Абсолютной орбитой называют путь тела в системе отсчёта, которую в каком-то смысле можно считать универсальной, уникальной и потому абсолютной. Такой системой считают Вселенную в большом масштабе, взятую как целое, и называют её «инерциальной системой». Относительной орбитой называют путь тела в такой системе отсчёта, которая сама движется по абсолютной орбите (по искривлённой траектории с переменной скоростью). Например, у орбиты искусственного спутника обычно указывают размер, форму и ориен-

тацию относительно Земли. В первом приближении это эллипс, в фокусе которого находится Земля, а плоскость неподвижна относительно звёзд. Понятно, что это относительная орбита, поскольку она определена по отношению к Земле, которая сама движется вокруг Солнца. Удалённый наблюдатель скажет, что спутник движется относительно звёзд по сложной винтовой траектории; это его абсолютная орбита. Таким образом, форма орбиты зависит от движения системы отсчёта наблюдателя.

ОРБИТА ЗЕМЛИ — путь в пространстве, по которому Земля движется вокруг Солнца. Проекцию орбиты Земли на небесную сферу называют эклиптической. В плоскости эклиптики орбита Земли имеет форму, близкую к эллипсу с эксцентриситетом $e=0,01671123$ и большой полуосью $a=149\,598\,261$ км (данные 2010 г.) Под влиянием притяжения других планет параметры земной орбиты постоянно изменяются. В 2010 г. значение a было чрезвычайно близко к принятому значению астрономической единицы ($1 \text{ а. е.} = 149\,597\,870\,700 \pm 3 \text{ м}$), но всё же не совпадало с ним: $a = 1,00000261 \text{ а. е.}$ Орбитальный период Земли составляет $365,256363004 \text{ сут} = 1,000017421$ тропического года. Земля проходит перигелий орбиты в начале января и афелий — в начале июля. Средняя скорость движения по орбите $29,78 \text{ км/с}$. К плоскости экватора Солнца орбита Земли наклонена на $7,2^\circ$.

ОРБИТА СОЛНЦА — путь, по которому Солнце вместе с планетной системой движется вокруг центра Галактики. Солнце расположено на расстоянии около 8 кпк (около 26 тыс. св. лет) от центра Галактики. Орбита Солнца в целом близка к окружности. Солнце обращается вокруг галактического центра со скоростью около 220 км/с по орбите, заключённой в пределах диска Галактики. Период орбитального обращения Солнца («галактический год») около 220 млн лет.

ОРЁЛ — красивое экваториальное созвездие в Млечном Пути, к юго-западу от Лебедя. Его легко узнать по трем ярким звёздам, расположенным почти точно вдоль прямой линии на шее, спине и левом плече «орла»: Альтаир, Таразед и Альшаин (α , γ и β Орла). Основное «тело птицы» лежит в восточной

ветви Млечного Пути, а две звезды её «хвоста» лежат в западной ветви «молочной реки». Ещё 5 тысячелетий назад шумеры называли это созвездие Орлом. Греки видели в нём орла, посланного Зевсом для похищения Ганимеда, и называли его Птицей Зевса. Ярчайшее светило в Орле — белая звезда Альтаир, что по-арабски означает «летающий ястреб». При расстоянии всего 17 св. лет от Солнца Альтаир имеет в 11 раз большую светимость, чем у Солнца, и поэтому является одной из ярчайших звёзд на небе. В результате быстрого вращения, скорость которого на экваторе превышает 250 км/с, Альтаир сильно сжат вдоль полярной оси. В 7° к югу от Альтаира расположена классическая переменная звезда-цефеида η Aql, изменяющая свой блеск от 3,8^m до 4,7^m с периодом 7,2 сут.

ОРИОН — зимнее экваториальное созвездие. Многие считают его красивейшим на всём небосводе. В расположении его ярких звёзд легко угадывается фигура великого охотника Ориона, сына Посейдона. К юго-востоку от фигуры охотника сияет голубой Сириус, а к северо-западу — красный Альдебаран. Но и в самом сравнительно небольшом созвездии Орион много ярких звёзд, причём среди ярчайших есть переменные. Созвездие легко разыскать по трем великолепным бело-голубым звёздам в поясе охотника — справа Минтака (δ Ori), что по-арабски значит «пояс», в центре Альнилам (ϵ Ori) — «жемчужный пояс», а слева Альнитак (ζ Ori) — «кушак». Они отстоят друг от друга на одинаковое расстояние и расположены в линию, указывающую одним концом на голубой Сириус в Большом Псе, а другим — на красный Альдебаран в Тельце.

Красный сверхгигант Бетельгейзе (α Ori), что по-арабски значит «подмышка гиганта», — полуправильная переменная звезда, пульсирующая с периодом около 2070 суток; при этом её блеск изменяется от 0,2^m до 1,4^m и в среднем составляет около 0,7^m. Её расстояние 390 св. лет и светимость в 8400 раз больше солнечной. Относительно скромной светимостью Бетельгейзе обязана невысокой температуре поверхности, около 3000 К, зато это одна из крупнейших среди известных астрономам звёзд: если

её поместить вместо Солнца, то при минимальном размере она заполнит орбиту Марса, а при максимальном достигнет орбиты Юпитера! В отличие от холодной и красной звезды Бетельгейзе красивый бело-голубой сверхгигант Ригель, что по-арабски значит «левая нога гиганта», имеет температуру поверхности 12 000 К; его светимость почти в 50 тыс. раз выше солнечной. Столь мощных звёзд в Галактике очень мало, а среди доступных невооружённому глазу — лишь Де-неб (в Лебеде) и Ригель.

Но Орион — не только украшение зимнего неба, но и настоящая астрономическая лаборатория, в которой изучают процессы рождения звёзд и планет. Ниже Пояса Ориона располагается группа звёзд и туманностей — Меч Ориона. Средняя звезда в Мече — θ Ori, известная кратная система: четыре её ярких компонента образуют маленький четырехугольник — Трапецию Ориона; там же видны 4 более тусклые звезды. Все эти звёзды очень молоды, они недавно сформировались из межзвёздного газа в очень холодном и невидимом облаке, занимающем всю восточную часть созвездия Орион. Лишь малая часть этого гигантского облака, нагретая молодыми звёздами, видна в Мече Ориона в небольшой телескоп и даже в бинокль как зеленоватое облачко. Это самый интересный объект в созвездии — Большая туманность Ориона (M42), удалённая примерно на 1500 св. лет и имеющая диаметр 20 св. лет. Она была первой сфотографированной туманностью; сделал это американский астроном Генри Дрэпер в 1880 г. На 0,5° к югу от восточной звезды Пояса (ζ Ori) расположилась широко известная тёмная туманность Конская Голова (B33), легко заметная на ярком фоне туманности IC 434.

ОРИОНИДЫ — ежегодный метеорный поток, демонстрирующий быстрые и яркие метеоры. Поток активен в период приблизительно с 17 по 26 октября. Максимальная активность наблюдается около 21 октября. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Орион. Геоцентрическая скорость частиц потока 66 км/с; именно поэтому его метеоры очень быстрые и яркие. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности около 30.

Родоначальницей потока считается периодическая комета 1P/Галлея.

ОСТАТКИ СВЕРХНОВЫХ — расширяющиеся газовые туманности, образовавшиеся при взрывах сверхновых звёзд. Состоят частично из выброшенных взрывом верхних слоёв звезды, а частично — из околозвёздного (сброшенного звездой до взрыва) и межзвёздного вещества, сгребённого, уплотнённого и разогретого разлетающимися продуктами взрыва. Самый известный пример — Крабовидная туманность (M1) в созвездии Телец, остаток сверхновой 1054 г. Молодые остатки сверхновых расширяются со скоростями 10–20 тыс. км/с. Наталкиваясь по пути на межзвёздное вещество, сгребая и уплотняя его перед собой, сброшенная взрывом оболочка звезды тормозится.

Столкновение расширяющейся оболочки с неподвижным межзвёздным газом порождает ударную волну, в которой газ нагревается до миллионов кельвинов и становится источником рентгеновского излучения. Кроме этого, остаток сверхновой — мощный источник радиоволн, имеющих синхротронную природу: распространение ударной волны в газе приводит к появлению быстрых заряженных частиц (космических лучей), которые, двигаясь в сжатом и усиленном этой же волной межзвёздном магнитном поле, излучают в радиодиапазоне. Остатки сверхновых видны и в оптическом диапазоне: источником света служат плотные газовые конденсации — волокна, имеющие сравнительно низкую температуру ($\sim 10^4$ K). Через десятки тысяч лет расширения остаток сверхновой достигает диаметра в десятки (иногда в сотни) парсеков, постепенно остывает и смешивается с межзвёздной средой.

В Галактике обнаружено около 300 остатков вспышек сверхновых звёзд, большая их часть наблюдается пока только в радиодиапазоне. Примерно 50 остатков, находящихся не далее 4–5 кпк от Солнца, отождествлены с оптическими туманностями, свет остальных поглощается газово-пылевой средой Галактики. Многие остатки сверхновых наблюдаются в рентгеновском диапазоне. Шесть молодых остатков сверхновых наблюдаются в области «исторических» сверх-

новых, вспыхнувших за последнее тысячелетие в Галактике.

Самым радиоярким объектом на нашем небе, расположенным за пределами Солнечной системы, является остаток сверхновой Кассиопея А. Взрыв породившей его звезды должен был наблюдаться три века назад, однако не был замечен (впрочем, возможно, его всё же заметил как звезду 3 Cas седьмой величины Джон Флемстид 16 августа 1680 г.) Это неудивительно, учитывая большое расстояние (3,4 кпк) и малую галактическую широту (-2°) объекта, что указывает на сильное межзвёздное поглощение света. К тому же взорвавшаяся звезда была, вероятно, очень массивной, а такие звёзды в конце жизни теряют много вещества, окружая себя плотной непрозрачной оболочкой.

Самый молодой остаток G1.9+0.3 был обнаружен по его радиоизлучению в 1984 г. в окрестности центра Галактики. Затем было замечено его рентгеновское излучение, а в 2008 г. радиоастрономы окончательно подтвердили быстрое расширение остатка. Породивший его взрыв звезды должен был наблюдаться около 1868 г., но он не был замечен из-за сильного поглощения света в этом направлении (галактические координаты источника указаны в его обозначении: $l = 1,9^\circ$ и $b = +0,3^\circ$).

В нескольких галактических остатках сверхновых обнаружены звёздные остатки — пульсары (например, Крабовидная туманность, Паруса XYZ, MSH 15-52). В центре W50 и G109.1–1.0 наблюдаются двойные системы: в первом, вероятно, массивная чёрная дыра в паре с В-звездой, во втором — нейтронная звезда с маломассивным спутником. Ещё в нескольких остатках (Кассиопея А, RCW 103, 3C 58, CTB 80) найдены точечные рентгеновские источники, которые, скорее всего, обусловлены тепловым излучением горячей поверхности нейтронной звезды. В остатках сверхновых 1006 г., Тихо Браге (1572) и Кеплера (1604) компактные рентгеновские источники не обнаружены.

Подсчёт числа радиоостатков диаметром $D \lesssim 30$ пк с учётом их времени жизни в межзвёздной среде разной плотности даёт средний интервал между вспышками сверхновых в Галактике около 20–30 лет. Такую

же частоту дают вспышки исторических» сверхновых, наблюдавшихся в последнее тысячелетие на расстоянии менее 5 кпк от Солнца.

Оценки времени жизни и частоты вспышек сверхновых в Галактике показывают высокую вероятность взаимного слияния старых остатков. Горячий разреженный газ слившихся остатков сверхновых с $T_c \approx 5 \cdot 10^5$ К и $n_e \approx (3-15) \cdot 10^{-3}$ см⁻³ занимает 50–80% объёма галактического диска. Возможно, «всплывание» горячих газовых пузырей, каковыми являются остатки сверхновых, даёт существенный вклад в галактический корональный газ. Остатки сверхновых влияют и на пылевую составляющую межзвёздной среды: с одной стороны, при вспышках образуются пылевые частицы, с другой стороны, происходит их эффективное разрушение при прохождении ударных волн, вызванных разлётом оболочки. Столкновение расширяющихся остатков с плотными газово-пылевыми облаками может инициировать процесс звёздообразования.

ОСЬ МИРА — прямая, проходящая через центр небесной сферы параллельно оси вращения Земли. Вокруг оси мира совершается видимое суточное движение небесных светил.

ОТКРЫТИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПРИСВОЕНИЕ ИМ ИМЁН — формальные процедуры, предусмотренные в рамках Международного астрономического союза (International Astronomical Union), для регистрации факта открытия нового астрономического явления или объекта и присвоения ему официального наименования.

Кто присваивает имена небесным телам. Имена звёздам, созвездиям и планетам начали присваивать с незапамятных времен. Раньше у каждого народа созвездия и отдельные звёзды в них назывались по-своему; ещё и сейчас бытуют народные названия, например, звёздное скопление Плеяды называют Стожарами или Семь Сестёр, Ковш Большой Медведицы тоже называют по-разному: Повозка, Лось, Тесло, Плуг, Семь Мудрецов, и т. п. Однако для однозначности научной терминологии в астрономии приняты европейские названия созвездий и арабо-европейские названия звёзд. Они

закреплены в документах Международного астрономического союза (МАС), объединяющего практически всех, кто профессионально работает в этой науке. Впрочем, не только члены МАС, но и члены менее крупных объединений астрономов (Европейское астрономическое общество, национальные астрономические общества), включая и любителей астрономии, в точности следуют этой традиции, подкреплённой международным авторитетом МАС.

Названия созвездий. В 1922 г. на I-й Генеральной ассамблее МАС в Риме было решено раз и навсегда определить наименования 88 созвездий, покрывающих всю небесную сферу. На III Генеральной ассамблее МАС (Лейден, 1928) были утверждены границы большинства созвездий. В 1930 г. бельгийский астроном Эжен Дельпорт опубликовал карты и подробное описание новых границ созвездий. Но и после этого ещё вносились некоторые уточнения, и только в 1935 г. вопрос о созвездиях был решён окончательно.

Имена звёзд. Не существует никаких официальных документов, регламентирующих их имена, но есть традиция, которая поддерживается при составлении карт и атласов звёздного неба. Около 300 ярких звёзд имеют собственные имена, в основном исторические. Это навигационные звёзды, которыми издавна пользовались для ориентации путешественники и охотники. Большинство имён звёзд очень древние — Сириус, Вега, Бетельгейзе, Альдебаран... — никто не знает, когда они появились. У разных народов одна и та же звезда называется по-разному: например, ярчайшая звезда в созвездии Ориона — Бетельгейзе, что по-арабски значит «подмышка великана», у бушменов называется «Самка антилопы». Вообще же в арабской и греко-римской традиции, которой следуют современные астрономы, имена звёзд часто указывают на названия частей тела фигуры созвездия: Денебола (во Льве) — «хвост льва», а в Пегасе звёзды Алгениб и Маркаб — «крыло» и «седло»; Фомальгаут (в Южной Рыбе) — «рот рыбы»; Ахернар (в Эридане) — «конец реки», и т. д.

Самые яркие светила, как правило, имеют несколько имён, разные у разных народов. Есть у ярких звёзд и несколько науч-

ных обозначений в соответствии с каталогами, в которые они занесены. Например, Капелла — α Возничего (в каталоге И. Байера, 1603), 13 Aurigae (по каталогу Д. Флемстида, 1725), ADS 3841A (в Каталоге двойных звёзд Эйкина, 1932), КЗП I 100460 (в Каталоге звёзд, заподозренных в переменности блеска, Москва, 1951) и т. д. При таком обилии обозначений не всегда бывает легко понять, что речь идёт об одном и том же объекте. Поэтому учёные предпочитают использовать не имена звёзд, а небесные координаты: значительно проще и надёжнее отождествлять объект по месту его «прописки» на небе. Лишь несколько звёзд «неофициально» носят имена людей. Это очень тусклые, не видимые невооружённым глазом звёзды, к которым сами собой «прилипли» имена астрономов, исследовавших эти светила и обнаруживших у них какие-либо удивительные свойства. Так, самую массивную среди изученных звёзд, почти в 100 раз тяжелее Солнца, называют Горячей звездой Пласскетта, а самую легкую ($0,07 M_{\odot}$) и холодную — Звездой ван Бисбрука. Две близкие к нам звезды, быстрее других перемещающиеся по небу, называют Летящей звездой Барнарда и Звездой Каптейна, а белый карлик, обнаруженный одним из первых, — Звездой ван Маанена. Разумеется, никаких дипломов на право владения именами звёзд их первооткрывателям не выдавали. По мере обнаружения ещё более экзотических звёзд имена тех, что некогда вызывали удивление, забываются, остаются лишь их каталожные обозначения, а фамилии старых астрономов, не знакомых нынешнему поколению исследователей, перестают упоминаться.

Названия объектов Солнечной системы.

Имена людей или мифических героев принято присваивать объектам Солнечной системы: планетам и их спутникам, астероидам, кометам, а также деталям на их поверхности — горам, кратерам, долинам, и т. п. Например, все планеты и их спутники носят имена из греко-римской мифологии. Лунные кратеры в основном названы именами астрономов, космонавтов и учёных-естествоиспытателей. Почти все названия на Венере посвящены женщинам — как мифи-

ческим, так и реальным. Прежде чем присвоить новое имя, его обсуждают международный коллектив астрономов, членов рабочей группы по названиям астрономических объектов МАС. Они следят, чтобы «на небо» попадали достойные люди. Обычно присваиваются имена уже умерших людей, причём имя объекта утверждается не ранее, чем через 3 года после смерти человека, чтобы успело сложиться объективное отношение к его личности. В виде исключения используются имена ныне здравствующих людей при наличии несомненных заслуг: например, некоторые кратеры на Луне носят имена космонавтов и астронавтов.

Приблизительно такая же традиция сложилась и с названиями **астероидов** — малых тел Солнечной системы размером от нескольких сотен километров до десятков метров. Как правило, новые астероиды в наши дни открывают астрономы-профессионалы, поскольку для этого нужны большие телескопы. Астероиду присваивается порядковый номер и — по желанию первооткрывателя — также имя. Первые астероиды были открыты в начале XIX в., и им, продолжая планетную традицию, тоже стали давать мифологические имена — Церера, Паллада, Юнона, Веста... Но астероидов обнаруживали всё больше, литературных имён не хватало, и им стали присваивать имена людей, как ушедших из жизни, но оставивших добрый след в истории, так и ныне здравствующих, но, разумеется, достойных.

Иная ситуация с именами **комет**. Они прилетают к Солнцу издалека, на короткое время разогреваются и начинают интенсивно испаряться, образуя газово-пылевые хвосты и давая учёным редкую возможность изучать древнейшее вещество Вселенной, застывшее когда-то в ядре кометы. Если упустить эту возможность, комета уйдёт от Солнца и будет потеряна для наблюдения. Чтобы проощрить поиск комет и не пропустить ни одну, им присваивают имена первооткрывателей — часто это любители астрономии, энтузиасты науки. Самая первая из названных комет носит имя Эдмунда Галлея, знаменитого тем, что он первым догадался о её периодическом возвращении к Солнцу через каждые 76 лет и верно пред-

сказал её очередной визит, чем сильно укрепил авторитет ньютоновой механики. Затем идут кометы Шарля Мессье и др. Иной раз комета носит два или даже три имени; это означает, что она была независимо и почти одновременно открыта несколькими астрономами. Правда, недавно решено было ограничиваться двумя именами первооткрывателей: например, комета Веста — Когоутека 1993 г. была открыта европейскими профессиональными астрономами Рихардом Вестом и Любошем Когоутеком. Многие видели очень яркую и неторопливую комету, украшавшую небосвод зимой 1996/97 г. Её открыли американские любители астрономии Алан Хейл (Клаудкрофт, шт. Нью-Мексико) и Томас Бопп (Глендэйл, шт. Аризона). Поэтому её назвали «комета Хейла — Боппа».

В последние годы возможности для поиска комет расширились: можно получать через интернет свежие фотографии неба и исследовать их при помощи компьютера. Особенно продуктивным оказалось изучение фотографий окрестностей Солнца, передаваемых с борта космической обсерватории SOHO. Таким путём открыто уже немало комет.

Можно ли продавать и покупать имена звёзд? Разумеется, никто, даже МАС, не обладает официальной монополией на имена звёзд: если вы хотите называть Полярную звезду именем своей возлюбленной или тещи, никто вам этого не запретит, но астрономы её так называть не будут — в своих каталогах и на небесных картах они оставляют всё без изменения.

Однако отсутствие ясных правовых норм в отношении названий космических тел вызвало к жизни в 1990-е гг. своеобразный бизнес — продажу имён звёзд. Он развернулся во многих странах, в том числе и в России; некоторые фирмы до сих пор им занимаются. У них вы можете купить сертификат, утверждающий, что определённой звезде (указаны её координаты и блеск) присвоено имя по вашему выбору. Стоимость этой «услуги» варьируется от нескольких долларов США для самых тусклых звёзд до нескольких тысяч долларов для ярких.

Торговля именами звёзд приняла такие масштабы, что Международному астроно-

мическому союзу и национальным астрономическим организациям пришлось обратиться на это внимание и разместить на своих сайтах специальные страницы, посвящённые практике присвоения имён небесным объектам и незаконности торговли ими. Вот выдержка из такого обращения на сайте МАС: «Международный астрономический союз получает всё увеличивающийся поток писем от частных лиц, желающих купить звезду или присвоить ей имя. МАС знает, что некоторые коммерческие предприятия предлагают такие услуги за плату. На самом же деле эти „имена“ не имеют ни формальной, ни официальной ценности. Генеральному секретарю МАС стало известно, что некоторые из этих компаний сообщают клиентам, что МАС знает, одобряет и даже сотрудничает с ними в деле торговли именами звёзд. МАС категорически заявляет, что такие утверждения являются ложью и не имеет под собой никаких оснований. Во всех случаях, ставших известными МАС, мы посылали компании письменное заявление о том, что все ссылки на МАС незаконны и должны быть немедленно прекращены. Если компания, несмотря на предупреждение, продолжает свою скверную практику, то это является бесстыдным правовым нарушением, которым должно заинтересоваться центральное или местное агентство по защите прав потребителя. Некоторые агентства уже провели свои мероприятия против таких фирм».

Таким образом, покупать имена звёзд, вообще говоря, можно, тем более, что всегда найдутся желающие вам их продать. Но вот продавать их, как выясняется, нельзя, во всяком случае, не уведомив покупателя о том, что это имя никем и никогда не будет употребляться, а лишь останется в компьютере фирмы-продавца. Как же в таком случае можно «поместить на небо» желанное имя, например своё? Единственный способ — внести выдающийся вклад в науку.

ОТРАЖАТЕЛЬНАЯ ТУМАННОСТЬ — межзвёздное облако газа и космической пыли, которое светится потому, что свет близлежащих ярких звёзд отражается в облаке пылью. Спектр туманности содержит линии

поглощения характерные для спектров соседних ярких звёзд. Слабый эмиссионный компонент спектров туманностей обусловлен свечением газа, а за отраженный звёздный свет отвечает пыль. Отражательные туманности часто кажутся голубоватыми, так как голубой свет более эффективно, чем красный, отражается пылевыми частицами. Наиболее известными примерами отражательных туманностей служат туманности вокруг некоторых звёзд в Плеядах, например туманность Мeroпа.

П

ПАВЛИН — южное созвездие, введенное И. Байером в 1603 г.; лежит между Туканом и Райской Птицей. Его ярчайшую звезду (α Pav) 1,9 звёздной величины называют Пикок. Фактически, она лежит на границе трёх созвездий — Индеец, Павлин и Телескоп, и для всех трёх является ярчайшей. Интересные объекты для наблюдения в Павлине: одно из самых красивых шаровых скоплений NGC 6752 и одна из крупнейших пересеченных спиральных галактик NGC 6744.

ПАЛОМАРСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ — то же, что Обсерватория Маунт-Паломар.

ПАЛОМАРСКИЙ ОБЗОР НЕБА — фотографический обзор неба, охватывающий области от северного полюса мира до склонения примерно -30° . Был проведён астрономами обсерватории Маунт-Паломар, принадлежащей Калифорнийскому технологическому институту, на средства, полученные по гранту Национального географического общества США. Поэтому официальное название этого обзора таково: National Geographic Society — Palomar Observatory Sky Survey (NGS-POSS). Но в научной литературе он обычно фигурирует как Palomar Observatory Sky Survey (POSS), а в русскоязычной литературе как «Паломарский обзор». Его инициаторами были Эдвин Хаббл, Милтон Хьюмассон, Вальтер Бааде, Айра Боуэн и Рудольф Минковский. Для фотографирования неба использовалась сооруженная в 1948 г. на Паломарской обсерватории 1,2/1,8-метровая камера Шмидта. Первый снимок был получен 11 ноября 1949 г. К 20 июня 1956 г. было закончено 99% обзора, а последний снимок

был сделан 10 декабря 1958 г. Фотографирование велось на стеклянные квадратные 14-дюймовые (36 см) пластинки фирмы «Кодак». Каждый снимок покрывал область неба размером $6^\circ \times 6^\circ$, площадью около 36 квадратных градусов. Каждая область неба фотографировалась дважды: на пластинку 103а-Е, чувствительную к красным лучам, и на пластинку 103а-О, чувствительную к голубым лучам. Это позволяет определять цвет небесного объекта.

Вначале обзор был проведён от северного полюса мира до склонения -24° (координата центра пластинки), то есть покрыв всю северную полусферу неба и приэкваториальную часть южной до склонения примерно -27° . Для этого понадобилось 879 пар пластинок. Позже обзор был продолжен (с некоторыми пробелами) до склонения -30° , покрыв в итоге небо до южного склонения около -34° на 936 парах пластинок. Предельная звёздная величина снимков немного варьируется от области к области, в среднем имея значение 22^m . В полном виде Паломарский обзор был опубликован как 1872 негативных фотоотпечатков, каждый размером 14×14 дюймов. В начале 1970-х гг. была опубликована новая версия этого обзора на негативных отпечатках размером 14×17 дюймов.

Паломарский обзор стал основой для многих каталогов и позволил открыть много новых интересных объектов. Особенно полезен он оказался для исследования галактик и их скоплений.

В 1962 г. Паломарский обзор был продолжен до склонения -42° на 100 красных фотопластинках, менее чувствительных к атмосферному поглощению света. Они также были опубликованы в виде негативных отпечатков. С учетом этого так называемого «Дополнения Уайтоук» (Whiteoak Extension) полное число пластинок в обзоре возросло до 1972. В 1986 г. началось цифровое сканирование Паломарского обзора, и в результате этой работы в 1994 г. был опубликован «Оцифрованный обзор неба» (Digitized Sky Survey). Он доступен бесплатно с сайтов NASA, например, <http://archive.stsci.edu/dss/>.

В 2001 г. методом автоматического сканирования и распознавания создан каталог

Паломарского обзора (Minnesota Automated Plate Scanner Catalog of the POSS I). Он содержит данные более чем о 89 млн объектов: их точные координаты, блеск, а также степень эллиптичности, позиционный угол большой оси, индекс концентрации яркости.

ПАНСПЕРМИЯ — перенос жизни с одних небесных тел на другие. До сих пор нет убедительных доказательств, что этот процесс происходит или происходил в прошлом, поэтому лучше говорить о «гипотезе панспермии». Для её проверки важно обнаружить жизнь ещё хотя бы на одной планете и сравнить её с земной: если и там белки окажутся собранными из 20 таких же аминокислот, как на Земле, значит, действительно все живые существа вышли из одной колыбели.

Некоторые основания для гипотезы панспермии даёт обнаружение органических соединений в межзвёздной среде, а также в ядрах комет и метеоритах. Исследование первичного метеоритного вещества — углистых хондритов — выявило сложные соединения на основе углерода вплоть до основных элементов ДНК — пуриновых оснований аденина и гуанина. Значит, образование таких веществ может происходить ещё на допланетной и даже дозвёздной стадии, в первичной газовой-пылевой туманности. В дальнейшем это органическое вещество входит в состав образующихся планет и при благоприятных условиях определяет развитие на них жизни. Вопрос о переносе живых организмов с планеты на планету пока открыт. На Земле бесспорно обнаружены метеориты с Луны и, весьма вероятно, с Марса (SNC-метеориты, или шерготтиты). Но сообщения о нахождении в них окаменелостей, напоминающих примитивные формы жизни, пока не кажутся большинству специалистов убедительными.

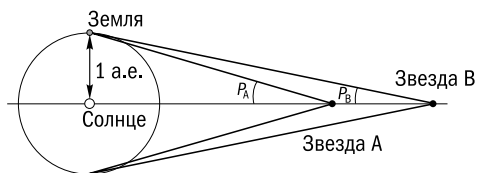
ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ — минимальная скорость (v_∞), которую нужно сообщить телу (например, космическому аппарату), чтобы оно могло преодолеть гравитационное притяжение другого тела массой M (например, Земли) и, двигаясь по параболической траектории, навсегда покинуть сферу его гравитационного действия. Если точка старта удалена от массивного тела на рас-

стояние R и кроме гравитационной силы иные силы не действуют, то $v_\infty = \sqrt{2GM/R}$, где G — гравитационная постоянная. Параболическую скорость у поверхности какого-либо небесного тела (планеты, звезды) называют второй космической скоростью v_2 . На поверхности Земли без учёта сопротивления атмосферы $v_2 = 11,2$ км/с.

ПАРАЛЛАКС — видимое смещение более близкого объекта на фоне значительно более далёких при перемещении наблюдателя с одного конца некоторой базы на другой её конец. Например, перемещение Земли по орбите вызывает заметный годичный параллакс у близких звёзд: видимое положение звезды описывает, в общем случае, эллипс вокруг среднего положения звезды. Форма этого эллипса в точности соответствует форме земной орбиты, как она видна от указанной звезды. Параллактический угол объекта (p) равен половине его максимального параллактического смещения, т. е. равен большой полуоси параллактического эллипса. Проще говоря, он равен углу, под которым от объекта виден радиус земной орбиты (1 а. е.). Даже у ближайших звёзд значение $p < 1''$. Если угол параллакса p мал и выражен в радианах, а длина перпендикулярной к направлению на объект базы составляет B , то расстояние до объекта с большой точностью равно $D = B/p$. При фиксированной базе сам параллактический угол может служить мерой расстояния до объекта. Поскольку базой годичного параллакса служит расстояние 1 а. е., то, измеряя параллакс в секундах дуги, получим простое выражение для расстояния до звезды в парсеках: $D = 1/p$ (по определению, парсек — это расстояние до объекта; см. *Парсек*.)

Параллаксы, определённые по параллактическому смещению светила, называют тригонометрическими. Но часто в виде параллактического угла выражают расстояние до светила, найденное иным, не геометрическим способом. Так появились динамический, спектральный, энергетический, групповой, статистический параллаксы.

В прошлом годичный параллакс обозначали буквами π или ϖ (это разновидности буквы π , а не ω). Но в последнее время, чтобы не путать с известной математической



Параллактические углы (P_A и P_B) двух звёзд (А и В), расположенных на разных расстояниях от Солнечной системы

константой, годичный параллакс стали обозначать буквой p .

Движение наблюдателя, вызванное суточным вращением Земли, вызывает изменение видимого положения близких объектов, располагающихся в пределах Солнечной системы. Угол между направлениями, в которых светило было бы видно из центра Земли и из какой-либо точки на её поверхности, называют суточным параллаксом светила (иногда его называют геоцентрическим параллаксом — *geocentric parallax*). Из-за вращения Земли суточный параллакс любого светила (кроме находящихся в полюсах мира) для любого наблюдателя (кроме находящихся на полюсах Земли) является функцией времени. Для светила, находящегося в момент наблюдения в зените, суточный параллакс равен нулю. Если светило наблюдается на горизонте, то его суточный параллакс принимает максимальное значение и называется горизонтальным параллаксом. Фактически это угол, под которым от объекта виден радиус Земли. Его обычно тоже обозначают буквой p . Горизонтальный параллакс у всех тел Солнечной системы невелик: у Луны в среднем $p = 57'$, у Солнца $p = 8,794''$, у всех планет он меньше $1'$.

ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ — повышение температуры поверхности планеты, вызванное тем, что атмосфера осталась прозрачной для приходящего солнечного излучения, но при этом стала непрозрачной для уходящего с планеты инфракрасного излучения. Рост температуры поверхности продолжается, пока баланс этих тепловых потоков не восстановится. Источником непрозрачности атмосферы для ИК-излучения обычно служат пары воды (H_2O) и двуокись углерода (CO_2). Парниковый эффект атмосферы особенно сильно проявляется на Венере, имеющей вследствие этого высокую тем-

пературу поверхности (733 К при эффективной температуре планеты около 240 К). Менее сильно парниковый эффект проявляется и на Земле, доводя её среднюю температуру до 288 К при эффективной около 253 К.

ПАРСЕК — расстояние до объекта, годичный параллакс которого равен одной угловой секунде ($1''$); отсюда и название — *параллакс + секунда*. Эту единицу измерения расстояний и её английское наименование «*parsec*» как аббревиатуру выражения «*parallax of one second*» ввёл в астрономию в 1913 г. известный английский астроном Герберт Холл Тёрнер (Herbert Hall Turner, 1861–1930). В отечественной литературе слово «парсек» ранее сокращали как «пс». После перехода к системе СИ, чтобы не путать с обозначением пикосекунды, перешли на сокращение «пк». В международных работах сокращённо обозначается «pc».

Если параллакс (p) объекта измерен в секундах дуги, то расстояние до него в парсеках составляет $D = 1/p$. $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ св. года} = 206\,265 \text{ а. е.} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$.

Парсек — внесистемная единица измерения, формально не рекомендованная к употреблению. Однако в астрономии парсек чрезвычайно удобен и популярен, поскольку близок к характерному расстоянию между звёздами. Например, ближайшая к Солнцу звезда — Проксима Кентавра — имеет параллакс $0,769''$, что соответствует расстоянию в $1/0,769'' = 1,30 \text{ пк}$. Астрономы широко применяют также более крупные единицы: килопарсек (кпк), равный 1000 пк, и мегапарсек (Мпк), равный 1 млн пк.

ПАРУСА — южное созвездие; исторически это часть древнего созвездия Корабль Арго. Южная часть созвездия Паруса попадает на самые населённые области Млечного Пути, поэтому оно богато яркими звёздами. Невооружённым глазом в нём можно насчитать около 100 звёзд. По историческим причинам в нём нет звёзд α и β ; самые яркие его светила обозначены как γ (Регор), δ , λ (Аль Сухайль), κ и μ . На границе Парусов и Киля находится астеризм Ложный Крест, который нередко вводит в заблуждение тех, кто впервые попадает в Южное полушарие. В отличие от настоящего Южного Креста,

Ложный Крест направлен совсем не на южный полюс мира.

Двойная звезда γ Vel без труда разрешается в бинокль: её компоненты 2^m и 4^m разделены расстоянием в $41''$. При этом главный компонент сам является сложной системой — это тесная двойная с орбитальным периодом 78,5 суток, в которой соседствуют очень горячая звезда спектрального типа O и редкая звезда типа Вольфа–Райе, имеющие массы соответственно $38 M_{\odot}$ и $20 M_{\odot}$. Менее массивная из них с большой скоростью и в большом количестве теряет вещество со своей поверхности. Впервые звёзды этого типа описали в 1867 г. французские астрономы Шарль Вольф (1827–1918) и Жорж Райе (1839–1906). В спектре этой системы широкие разноцветные линии видны на довольно ярком непрерывном фоне. Астрономы называют эту звезду спектральной жемчужиной южного неба.

ПЕГАС — осеннее экваториальное созвездие, расположенное к юго-востоку от Лебедя. Вместе со звездой α Андромеды этот «летающий конь» образует Большой Квадрат Пегаса, который легко найти на небе. Вавилоняне и древние греки называли его просто «конем»; имя «Пегас» впервые появляется у Эратосфена, но крыльев ещё нет. Они возникли позже, в связи с легендой о Беллерофонте, получившем крылатого коня от богов, взлетевшем на нём и убившем крылатое чудовище химеру. В некоторых мифах Пегас также связан с Персеем.

В созвездии Пегас нет звезды, помеченной буквой δ , но на некоторых старых картах этой буквой обозначена верхняя левая в Квадрате звезда Альферац, которую теперь мы знаем как α Андромеды. Альферац относится к тем ярким «общим» звёздам, которые нередко лежат на границах созвездий. Решение о его «передаче» Андромеде было принято при окончательном разделе созвездий в 1928 г., при этом Большой Квадрат стал «совместной собственностью» двух созвездий. В Пегасе, у границы с Малым Конём, находится одно из богатейших шаровых скоплений M15, а также спиральная галактика NGC 7331, изображение которой часто используют, чтобы дать представление о внешнем виде нашей Галактики.

ПЕКУЛЯРНЫЕ ГАЛАКТИКИ (англ. *peculiar* — необычный, особенный) — галактики необычной формы, не укладывающиеся в простую схему Хаббла морфологической классификации галактик (эллиптическая, спиральная...). Часто признаком пекулярности служат длинные выступающие детали — «мосты», «усы», возникающие в результате приливного взаимодействия двух или нескольких тесно расположенных галактик.

ПЕКУЛЯРНЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, которые отличаются от обычных звёзд того же спектрального класса какими-либо существенными особенностями в оптическом спектре, а иногда и другими свойствами. Причины — аномалии химического состава, наличие сильного магнитного поля и т. д.

ПЕПЕЛЬНЫЙ СВЕТ ЛУНЫ — слабое свечение ночной стороны Луны, освещённой солнечным светом, отражённым Землёй. Пепельный свет особенно заметен в период малых фаз Луны, непосредственно перед новолунием или сразу после него, когда почти вся освещённая Солнцем поверхность Земли обращена к Луне. Это очень красивое явление. Его название на английском языке — *earthshine* или *earthlight* — явно указывает на связь с Землёй. Для его описания существует популярная поэтическая фраза: «The old Moon in the new Moon's arms» (Старая Луна в объятьях молодой) и симметричная ей фраза: «The new Moon in the old Moon's arms».

ПЕРВИЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ — космические лучи, приходящие в точку наблюдения из космического пространства и не испытывавшие взаимодействия со средой (например, с атмосферой Земли). Соответственно, вторичными космическими лучами называют элементарные частицы, образовавшиеся при столкновениях первичных космических лучей с молекулами газов атмосферы Земли

ПЕРВИЧНЫЙ НУКЛЕОСИНТЕЗ — формирование атомных ядер, происходившее в течение первых трёх минут после Большого взрыва, пока высокая плотность и температура благоприятствовали ядерным реакциям.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ — звёзды, заметно изменяющие свой видимый блеск. Затмен-

ная переменная звезда — двойная система, в которой один компонент периодически закрывает другой от наблюдателя на Земле. Физические переменные звёзды, такие как цефеиды, вспыхивающие звёзды, новые и сверхновые, действительно изменяют свою светимость в результате внутренних процессов. Переменные звёзды обозначают в порядке их обнаружения в каждом созвездии: первую обозначают буквой R, вторую буквой S, затем T, и т. д. После Z идут обозначения RR, RS, RT, и т. д., после ZZ — AA и т. д. Букву J не используют, чтобы не было путаницы с I. Когда эти комбинации исчерпываются (всего их 334), продолжают нумерацию цифрами с буквой V (от *variable* — переменный), начиная с V335. Примеры: S Car, RT Per, V557 Sgr.

Большинство переменных звёзд либо очень молоды, либо стары, поэтому удобнее всего классифицировать их в соответствии с возрастом, т. е. со стадией эволюции.

Молодые переменные звёзды — это звёзды, которые формируются или находятся на ранней стадии эволюции. К ним относятся звёзды типа T Тельца, демонстрирующие нерегулярные изменения блеска и часто окутанные облаками пыли и газа.

Переменные Хаббла — Сэндиджа, массивные звёзды большой светимости с нерегулярным изменением блеска. В эту группу входят звёзды максимальной светимости нашей и соседних галактик. Возраст таких звёзд всего несколько миллионов лет, а их массы — от 60 до 200 $M_{\odot}$. В нашей Галактике такими звёздами являются Р Лебедя и η Киля, интенсивно теряющие массу в виде звёздного ветра.

Пульсирующие переменные периодически расширяются и сжимаются, а их блеск синхронно усиливается и ослабляется. Среди пульсирующих переменных наиболее известны цефеиды, названные так по прототипу — звезде δ Цефея. Изменение цвета, светимости и скорости движения поверхностного слоя у классической цефеиды происходит с определённым периодом. Но самое интересное — чем больше этот период, тем больше средняя светимость звезды. А поскольку видимый блеск звезды меняется обратно пропорционально квадрату рас-

стояния до неё, то, измерив блеск и определив по периоду светимость цефеиды, можно вычислить расстояние до неё. Классические цефеиды имеют массы порядка 5 масс Солнца и возраст от нескольких до 100 миллионов лет (см. *Цефеиды*).

Пульсирующие переменные звёзды типа β Цефея изменяют, вероятно, не столько свой размер, сколько форму. Они значительно моложе Солнца.

Некоторые пульсирующие переменные звёзды очень стары: их возраст достигает до 13 млрд лет, а массы составляют от 0,6 до 2 $M_{\odot}$. Например, это переменные типа RR Лиры с периодами менее суток и светимостью от 50 до 100 $M_{\odot}$. Сюда же относятся цефеиды старого населения Галактики (переменные типа W Девы), обнаруженные в шаровых скоплениях. Их периоды сравнимы с периодами классических цефеид, хотя светимость заметно слабее и ведут они себя немного иначе. Вероятно, родственны этой группе и звёзды типа δ Щита, которые часто называют «карликовыми цефеидами».

Четвёртая группа пульсирующих переменных состоит из холодных старых звёзд с обширными оболочками. В эту группу входят полуправильные и долгопериодические переменные типа Миры Кита (о Cet), мириды. Полуправильные звёзды являются сверхгигантами с массами от 8 до 40 $M_{\odot}$. На конечной стадии эволюции у них наблюдаются нерегулярные пульсации, как это видно на примерах Бетельгейзе и Антареса. Типичные периоды мирид составляют от 200 до 450 сут, а светимости достигают 10 тыс. солнечных; диапазон их масс от 0,8 до 3 солнечных. Динамика их пульсаций усложняется развитием ударных волн. Мириды образуют непрерывную последовательность с переменными OH/IR, в спектрах которых видны гидроксильные (OH) эмиссионные линии, а сами звёзды так холодны, что в основном излучают в инфракрасном диапазоне (IR). Это умирающие звёзды, окруженные огромными газово-пылевыми оболочками.

Затменные переменные. Многие переменные звёзды входят в двойные системы. Блеск некоторых из них (например, Алголя) меняется для земного наблюдателя из-за периодического затмения их поверхности

более холодным спутником. Изменение блеска других обусловлено внутренними причинами. К группе таких звёзд относятся переменные типа RS Гончих Псов, холодные старые звёзды с активными хромосферами и пятнистой поверхностью. Наиболее интересны в этой группе те системы, в которых белый карлик, нейтронная звезда или чёрная дыра соседствуют с более или менее нормальной звездой. Такие системы могут быть переменными в УФ или рентгеновском диапазоне. В этих системах вещество, теряемое нормальной звездой, падает на белый карлик или попадает в аккреционный диск вокруг нейтронной звезды или чёрной дыры. В объекте SS 433 звезда-гигант является членом двойной системы вместе с нейтронной звездой или чёрной дырой, окружённой аккреционным газовым диском, из которого вещество выбрасывается со скоростью $1/4$ скорости света.

Наиболее известные системы, состоящими из белого карлика и близкого к нему спутника, — классические новые звёзды, карликовые новые и симбиотические переменные. Блеск классических новых может усиливаться в миллион раз, а затем быстро ослабеть. Карликовые новые усиливают свой блеск от 6 до 200 раз, а ослабление происходит за время от 10 до сотен дней. Симбиотическая звезда — это система, состоящая из холодной красной звезды и её маленького горячего спутника, причём вся система окутана облаком ионизованного газа.

Сверхновые. Самыми замечательными переменными звёздами считаются сверхновые, которые в момент вспышки нередко становятся ярче целой галактики. В исторические времена в нашей Галактике наблюдались вспышки сверхновых: породившая Крабовидную туманность вспышка 1054 г.; Сверхновая Тихо (1572 г.); Сверхновая Кеплера (1604 г.). Это мощные взрывы, почти полностью разрушающие звезду. Различают два типа сверхновых. Сверхновые I типа наблюдаются в звёздных системах, лишённых молодых звёзд (в эллиптических галактиках) и в максимуме достигают светимости $6 \cdot 10^9 L_{\odot}$. Вероятно, это взрываются белые карлики, на которые в двойных системах происходит аккреция вещества с сосед-

ней звезды до тех пор, пока масса карлика не превысит предел Чандрасекара ($1,4 M_{\odot}$). Сверхновые II типа образуются при взрыве молодых массивных звёзд ($15\text{--}30 M_{\odot}$) и достигают светимости $4 \cdot 10^8 L_{\odot}$.

Сверхновые обоих типов производят в процессе взрыва химические элементы тяжелее железа и выбрасывают их в межзвёздное пространство. Эти взрывы могут стимулировать рождение звёзд следующего поколения; возможно, так родилась и Солнечная система.

Спектральные переменные. Это относительно молодые звёзды с температурой поверхности $10\text{--}15$ тыс. К. Их блеск меняется слабо, но в процессе вращения звезды в её спектре наблюдаются сильные изменения, указывающие, что в разных областях поверхности звезды сконцентрированы различные металлы. У этих звёзд мощное (более 30 кГс) переменное магнитное поле.

Звёзды типа UV Кита. Это относительно молодые звёзды-карлики типа Солнца, вспышки которых похожи на солнечные, но более мощные. На небольших участках их поверхности существуют сильные магнитные поля.

Звёзды типа R Северной Короны. Это старые звёзды, богатые углеродом. Их ровное свечение иногда прерывается неожиданным ослаблением блеска во много раз, а затем восстанавливается. Вероятно, в атмосфере звезды время от времени образуются облака сажи, поглощающие её свет, которые затем рассеиваются.

Внутри этих основных типов переменных звёзд и помимо них существует множество групп и подтипов. Некоторые из них представлены отдельными статьями ниже или по названиям групп: например, *Фуоры*, *Цефеиды*, *Новые (звёзды)*, *Сверхновые*.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА α^2 ГОНЧИХ ПСОВ (α^2 CVn) — вращающиеся переменные звёзды, известные также как спектральные переменные. Это звёзды главной последовательности спектральных классов от B8p до A7p с сильным магнитным полем. В спектрах таких звёзд очень сильные линии кремния, стронция, хрома и редкоземельных элементов. Наблюдаемая интенсивность этих линий меняется в результате враще-

ния звезды. Изменение интенсивности магнитного поля и блеска происходит с периодами от 0,5 до 160 суток; амплитуда изменения блеска составляет от $0,01^m$ до $0,1^m$. Считается, что как раз сильное магнитное поле звёзд типа α^2 Гончих Псов (α^2 Canum Venaticorum) ответственно за различия в составе и блеске разных областей поверхности звезды. Физически это эквивалентно тому, как более слабое магнитное поле на поверхности Солнца приводит к образованию тёмных солнечных пятен.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА β ЛИРЫ (β Lyr) — тесные двойные системы, демонстрирующие как эллипсоидальную, так и затменную переменность блеска. Под действием взаимного приливного влияния звёзды приобретают несферическую (в первом приближении эллипсоидальную) форму. Даже если компоненты системы не затмевают друг друга, в разных фазах орбитального периода мы смотрим на них под разными углами и поэтому видим разное количество света. Изменение блеска этих звёзд происходит непрерывно и весьма гладко, в отличие от внезапных изменений блеска обычных затменных систем. Прототипом этой группы является звезда β Лиры (β Lyrae).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА β ЦЕФЕЯ (β Cep) — пульсирующие переменные спектральных классов от O9 до B3, с короткими периодами от 3,5 до 6 часов и амплитудой $0,1^m$ – $0,3^m$. Звёзды типа β Цефея (β Cephei) занимают узкую полосу на диаграмме Герцшпрунга–Рассела вблизи звёзд с массами 10 – $20 M_{\odot}$, у которых в ядре горит водород. Большинство таких звёзд обладает радиальными пульсациями, но несколько звёзд отличаются странным видом кривой блеска.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА δ ЩИТА (δ Scu) — пульсирующие переменные звёзды, демонстрирующие небольшие правильные изменения блеска, с амплитудами от $0,003$ до $0,9$ звёздных величин и периодами от $0,25$ до 5 часов. Это объекты населения I типа, спектральных классов A0–F5, расположенные в нижней части полосы неустойчивости на диаграмме Герцшпрунга–Рассела. Они могут находиться на главной последовательности или среди субгигантов и гигантов. Хотя эти звёзды напоми-

нают цефеиды и иногда именуются устаревшим термином «карликовые цефеиды», они одновременно могут иметь моды как радиальных, так и нерадиальных пульсаций. Это родственники звёзд типа SX Phe и звёзд типа AI Vel.

Прототип этой группы переменных — звезда δ Scuti, широкая тройная система, расположенная на расстоянии 187 св. лет от нас. Главный компонент системы — звезда δ Scu A (визуальный блеск $4,71^m$) имеет два главных периода: 4,65 и 4,48 часа. Остальные периоды равны 2,79; 2,28; 2,89 и 20,11 часа. Амплитуда изменения блеска составляет $0,2^m$.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА γ КАССИОПЕИ (γ Cas) — быстро вращающиеся эруптивные переменные звёзды спектральных классов BeIII–BeV, у которых в спектрах временами появляются серии сильных и резких линий поглощения, обусловленных ослаблением блеска веществом, выброшенным из экваториальной области. После отделения от звезды оно может собираться в кольцо (у некоторых звёзд типа Be) или сформировать оболочку (у звёзд с оболочками) и это сопровождается ослаблением блеска с амплитудой до $1,5^m$. Самыми известными звёздами этой группы являются сама γ Кассиопеи и Плейона в скоплении Плеяды.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА AI ПАРУСОВ (AI Vel) — пульсирующие переменные, похожие на звёзды типа δ Щита, но с большими амплитудами изменениями блеска (до $1,2^m$) и периодами от 1 до 5 часов. Раньше эти звёзды называли карликовыми цефеидами.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА AM ГЕРКУЛЕСА (AM Her) — тип магнитных катаклизмических переменных, представляющих собой тесную двойную звезду, состоящую из близко расположенных друг к другу карлика спектрального класса K или M и белого карлика с сильным магнитным полем. Главной (более яркой) звездой является белый карлик, магнитное поле которого не только предотвращает образование аккреционного диска, но и синхронизирует вращение главной звезды с её орбитальным периодом. Среди всех известных объектов именно у таких систем наиболее поляризованное излучение, поэтому их называют поляра-

ми. У них очень сильная не только линейная, но и — что более важно — круговая поляризация. Сильное магнитное поле (10^7 – 10^8 Гс) белого карлика захватывает падающее с красного карлика вещество до того, как оно смогло бы образовать аккреционный диск, и направляет его поток в аккреционную воронку, один конец которой направлен к северному магнитному полюсу звезды, а другой к южному. Сходясь к полюсам, силовые линии магнитного поля направляют поток вещества на крошечные полярные аккреционные пятна. Скорость потока, падающего на поверхность белого карлика, составляет примерно 3000 км/с. Газ сжимается, разогревается, и его кинетическая энергия превращается в рентгеновское излучение.

Магнитное поле белого карлика влияет и на вращение звёзд, поэтому они всегда обращены друг к другу одной и той же стороной. Правда, примерно у каждой десятой звезды типа AM Her орбитальный период отличается от периода вращения примерно на 1%. Более того, магнитное поле белого карлика часто наклонено так, что один магнитный полюс направлен в ту сторону, откуда приходит поток; в результате вещество в основном течёт к этому полюсу.

Затмения в системах AM Her позволяют восстановить геометрии потока. Кривые блеска показывают, что небольшие и быстрые затмения аккреционного пятна на полюсе, смотрящем на поток, излучают почти половину всей мощности системы. Большая часть остального излучения исходит из широкого потока, который в ходе затмения постепенно уменьшается и так же медленно восстанавливается. Амплитуда изменения оптического блеска у звёзд типа AM Her может достигать до 4^m – 5^m .

Прототип этого класса переменных — звезда AM Herculis, её орбитальный период равен 3,1 часа. В «Общем каталоге переменных звёзд» она была отнесена к неправильным переменным с блеском меняющимся от 12^m до 14^m . Так считалось до 1976 г., когда начала проявляться истинная природа системы. Было установлено, что это оптический двойник рентгеновского источника 3U 1809+50, обнаруженного спутником «Ухуру». Некоторые особенности измене-

ния блеска заезды в оптическом диапазоне объясняются поведением красного карлика. Во-первых, красный карлик деформирован: он имеет яйцеобразную форму из-за притяжения своего компаньона, в сторону которого направлена его большая ось. Когда вторичный компонент виден сбоку, он выглядит немного шире, чем когда виден с торца. Поэтому из-за вращения всей системы в течение периода изменения блеска появляются два длинных слабых максимума и два длинных неглубоких минимумов. Во-вторых, иногда появляются флуктуации, обусловленные разогревом поверхности красного карлика рентгеновским излучением главного компонента. Это «горячее пятно» периодически пропадает из виду, при вращении звезды оно скрывается от нас. Короткопериодические изменения обусловлены турбулентностью переноса массы в системе.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА АМ ГОНЧИХ ПСОВ (AM CVn) — группа редких катаклизмических переменных, состоящих из двух очень близких карликов, образующих полуразделённую систему с аккрецией. Их ещё называют тесными двойными. Эти звёзды богаты гелием, и в их спектрах нет даже следов водорода. Характеризуются короткими периодами; у прототипа — звезды AM Canum Venaticorum — период равен 18 минутам.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА ВУ ДРАКОНА (BY Dra) — вращающиеся переменные звёзды спектральных классов G, K и M с квазипериодическим изменением блеска, имеющим амплитуду от нескольких сотых долей звёздной величины до $0,5^m$ и период от нескольких часов до 120 суток. Эти изменения блеска обусловлены особенностями поверхностей звёзд, например, наличием пятен, которые то появляются на видимой стороне звезды, то — в результате вращения звезды — исчезают за её лимбом. Некоторые из этих звёзд демонстрируют вспышки, похожие на вспышки звёзд типа UV Кита, в этом случае их относят к обеим группам. Сама звезда ВУ Дракона является тесной двойной системой с орбитальным периодом 5,9 суток, состоящей из карликов спектрального класса K6V и M0V. Расстояние между компонентами составляет

0,05 а. е. Звезда спектрального класса М демонстрирует вспышки, увеличивающие её яркость в 2–4 раза. Кроме того, у этой звезды наблюдаются изменения блеска, связанные с орбитальным движением и активностью хромосферы.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА ER БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ (ER UMa) — разновидность переменных звёзд типа SU UMa (один из видов карликовых новых), у которых интервал между супервспышками очень короткий. Звёзды типа ER Большой Медведицы (ER Ursae Majoris) обычно проводят от трети до половины своего времени в состоянии супервспышки; интервал между супервспышками составляет от 20 до 50 суток. Вне супервспышки эти звёзды демонстрируют частые (примерно раз в 4 суток) обычные вспышки.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА FK ВОЛОС ВЕРОНИКИ (FK Com) — быстро вращающиеся звёзды-гиганты спектральных классов G и K, изменения блеска которых имеют периоды равные периоду вращения — несколько суток. Изменения блеска с амплитудой в несколько сотых долей звёздной величины обусловлены областями поверхности, которые ярче окружающей их поверхности. Звёзды типа FK Волос Вероники, видимо, представляют позднюю стадию эволюции звёзд с общей оболочкой, в которых слились ядра звёзд-предшественниц.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА FU ОРИОНА — см. *Фуоры*.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА DQ ГЕРКУЛЕСА (DQ Her) — магнитные катаклизмические переменные, двойные системы, в которых белый карлик имеет магнитное поле напряжённостью 10^6 – 10^7 Гс. Это весьма сильное поле, но всё же оно слабее, чем магнитное поле звёзд типа AM Her. Поэтому звёзды типа DQ Her иногда называют промежуточными, или переходными, полярами.

У прототипа этих переменных, звезды DQ Геркулеса, в 1934 г. наблюдалась мощная вспышка (Новая Геркулеса 1934). Звёзды типа DQ Геркулеса представляют собой двойную систему, где главная (более яркая) звезда — белый карлик, а её спутник — красный карлик. В системе DQ Her аккреционный диск, формирующийся из вещества крас-

ного карлика, разрушается магнитным полем вблизи белого карлика. Когда вещество аккреционного диска добирается до белого карлика, оно сгребается его магнитным полем и образует аккреционные потоки вдоль магнитных линий. Магнитосфера белого карлика наклонена по отношению к орбитальной плоскости и поэтому разрушает аккреционный диск; газ направляется по самому короткому пути вдоль магнитных линий. Затем оно врезается в магнитные полюса белого карлика и вызывает сильное излучение. Хотя магнитосфера белого карлика очень сильна, она всё же не в состоянии синхронизировать период орбитального обращения белого карлика с периодом его осевого вращения, как это наблюдается у звёзд типа AM Her.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА R БОЛЬШОГО ПСА (R CMa) — полуразделенные, затменные двойные системы, в которых менее массивный компонент фактически заполняет свою полость Роша. Блеск прототипа группы — звезды R Большого Пса (R Canis Majoris) — меняется от $6,7^m$ до $5,9^m$ с периодом 27 часов.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА R СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ (R CrB) — эруптивные переменные звёзды-сверхгиганты спектрального класса F или G, в атмосфере которых много углерода. Отличительная черта этих звёзд в том, что их активность проявляется не в виде временного повышения светимости, как у вспыхивающих звёзд, а напротив — в виде временного снижения светимости, особенно заметного в видимом диапазоне спектра. По этой причине звёзды типа R Северной Короны иногда называют антивспыхивающими.

Считается, что блеск таких звёзд снижается вследствие выброса богатого углеродом вещества в определённой фазе пульсации атмосферы. Двигаясь наружу, облако богатого углеродом газа постепенно остывает, и углерод конденсируется в мелкие пылинки, которые поглощают большую часть света, излучаемого фотосферой звезды. Только когда под давлением излучения эта пыль полностью рассеивается, блеск звезды возвращается к нормальному состоянию. В максимуме блеска у звёзд типа R CrB

наблюдаются небольшие колебания с амплитудами в несколько сотых долей звёздной величины и периодами от 20 до 100 дней. Прототип этих переменных — сама звезда R Северной Короны (R Coronae Borealis) — типичный представитель своего класса. Её переменность в 1975 г. обнаружил Эдуард Пиготт. Большую часть времени звезда находится в состоянии максимального блеска, имея видимую звёздную величину около 6^m. Но временами она начинает тускнеть, и этот процесс может длиться несколько недель. Блеск звезды иногда ослабевает на 8^m, и в таком состоянии она может оставаться много месяцев. Но иногда сразу после минимума звезда несколько раз восстанавливает блеск и сразу же вновь тускнеет. Часто окончательное восстановление максимального блеска происходит очень медленно и занимает от нескольких месяцев до года. В нормальном состоянии это сверхгигант спектрального класса F8 или G0 Ib.

В эволюции звезды фаза R CrB, вероятно, довольно кратковременна: она может длиться около 1000 лет. Об этом свидетельствует малое количество звёзд этого типа — их известно не более 50. Эволюционный статус таких звёзд неясен. Обычно обсуждаются два варианта: (1) модель двойной выродившейся звезды, и (2) модель финальной гелиевой вспышки. Каждая из этих теорий рассматривает расширение оболочки белого карлика в фазе сверхгиганта. Но в первой модели происходит слияние двух белых карликов, а во второй предполагается, что в фазе сверхгиганта оболочка одиночного белого карлика расширяется и происходит финальная гелиевая вспышка.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА RR ЛИРЫ (RR Lyr) — пульсирующие короткопериодические жёлтые или белые гиганты. Звёзды типа RR Лиры (RR Lyrae) относятся к населению II типа и наблюдаются в шаровых скоплениях (отсюда их старое название — переменные скоплений) или в галактических гало. Периоды изменения их блеска составляют от 0,2 до 2 суток, амплитуды изменения блеска — от 0,3^m до 2^m, а спектральные классы — от A2 до F6. Кривые блеска некоторых звёзд типа RR Лиры похожи на кривые блеска цефеид (из-за этого они получили уже

устаревшее название — цефеиды скоплений или короткопериодические цефеиды). Как и цефеиды, эти переменные можно использовать в качестве индикаторов расстояний («стандартных свечей»). Но по сравнению с цефеидами звёзды типа RR Лиры более старые, менее массивные (около 0,8 $M_{\odot}$) и более тусклые: их типичная светимость составляет около 45 $L_{\odot}$ (абсолютная звёздная величина около +0,75^m).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА RS ГОНЧИХ ПСОВ (RS CVn) — эруптивные переменные звёзды, являющиеся также и тесными двойными системами. Амплитуда изменения блеска этих звёзд может достигать 0,2^m, а периоды близки к орбитальным. На эти короткопериодические изменения накладываются долговременные циклы хромосферной активности, похожие на солнечные циклы и длящиеся от 1 до 4 лет.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА RV ТЕЛЬЦА (RV Tau) — яркие жёлтые пульсирующие сверхгиганты, кривая блеска которых показывает чередующиеся глубокие и мелкие минимумы с периодами (от глубокого минимума до следующего глубокого) от 30 до 150 суток и амплитудами до 4^m. Спектральный класс в минимуме от F до G, в максимуме — от G до K. По-видимому, звёзды типа RV Тельца (RV Tauri) являются промежуточным звеном между цефеидами и лиридами. Возможно, это маломассивные звёзды (по крайней мере у некоторых из них низкая металличность), находящиеся на пути от асимптотической ветви гигантов к белым карликам. Из-за высокого темпа потери массы часть этих звёзд может стать планетарными туманностями, а некоторые из них могут эволюционировать так медленно, что оболочка рассеется ещё до начала процесса фотоионизации. Поскольку переход от асимптотической ветви гигантов к белым карликам не совсем понятен, звёзды типа RV Тау могут стать хорошим материалом для изучения этой эволюционной стадии. Эта фаза звёздной эволюции очень короткая — всего несколько тысяч лет.

Существуют две группы звёзд типа RV Тау: тип RVa (его представителем служит звезда R Щита) сохраняет почти постоянный средний блеск, а тип RVb (к нему от-

носится сама RV Tau) имеет длинные периоды — от 600 до 1500 суток. Инфракрасные наблюдения показывают, что звёзды типа RV Tau имеют пылевые околозвёздные оболочки, которые могут пульсировать. Учитывая плавный переход от типа RVa к типу RVb, можно предположить, что эти типы фактически не различаются. Звёзды типа RVb могут находиться в активной фазе, когда пылевая оболочка пополняется пылью, образованной вблизи звезды. Пыль может выметаться вместе с утечкой газа и при отсутствии образования новой пыли; тогда звезда переходит в тип RVa с менее плотной оболочкой. У звёзд типа RVa могут быть более тонкие пылевые оболочки или же их пыль может располагаться на большом расстоянии.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА S ЛИСИЧКИ

(S Vul) — долгопериодические переменные звёзды. Это жёлтые гиганты или сверхгиганты, ведущие себя большую часть времени как цефеиды, но иногда вступающие в фазу неустойчивости, когда их поведение становится непредсказуемым. Период самой S Лисички составляет 68,5 суток.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА SS ЛЕБЕДЯ

(SS Cyg) — звёзды, относящиеся к одному из трёх подклассов переменных типа U Gem (белые карлики). Второй подкласс составляют звёзды типа SU UMa, а третий — Z Cam. Подкласс назван по имени первой открытой звезды этого типа — SS Лебедя (SS Cygni). Такие звёзды демонстрируют вспышки с амплитудами от 2^m до 6^m . Увеличение блеска происходит в течение 1–2 суток, а уменьшение иногда занимает больше времени. Средний интервал между вспышками может длиться от 10 суток до нескольких лет.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА SU БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ (SU UMa)

— одна из подгрупп звёзд типа U Gem (катаклизмические двойные). Звёзды типа SU Большой Медведицы характеризуются тем, что кроме обычных вспышек, как у звёзд типа U Gem (увеличение блеска на 2^m – 6^m , длящееся от 1 до 3 суток), у них наблюдаются супервспышки. На каждые 3–10 обычных вспышек приходится одна супервспышка. Длится она от 10 до 18 суток, а блеск по сравнению с обычным максимумом увеличивается на 1^m – 2^m .

Супервспышка ярче и дольше обычной вспышки. Подъём блеска такой же, как и при обычной вспышке, но при этом наблюдаются небольшие периодические флуктуации с амплитудой в несколько сотых звёздной величины и периодом на 2–3% дольше орбитального периода системы.

Почти у всех звёзд типа SU UMa орбитальный период короче двух часов. Обычные вспышки звёзд этого типа считаются такими же, как и у звёзд типа U Gem, но для объяснения супервспышек предложено несколько механизмов. Наиболее популярная теория, известная как модель тепловой и приливной неустойчивости, предполагает, что как обычные, так и супервспышки обусловлены неустойчивостью дисковой аккреции. Но если обычные вспышки объясняются только тепловой неустойчивостью, то супервспышки обусловлены ещё и приливным эффектом.

Интервал от одной супервспышки до другой называют суперциклом. У большинства звёзд типа SU UMa суперциклы длятся несколько сотен суток. Но существуют звёзды как с более короткими, так и с более длинными суперциклами. Звёзды с короткими суперциклами называют переменными типа ER UMa, а с более длинными — переменными типа WZ Sge.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА Т ТЕЛЬЦА

(T Tau) — молодые маломассивные звёзды. Их возраст меньше 10 млн лет, а масса менее $3 M_{\odot}$. В настоящее время эти звёзды проходят стадию гравитационного сжатия. Их эволюция находится на промежуточном этапе между протозвездой и маломассивной звездой главной последовательности, такой как Солнце. Ближайшие звёзды типа Т Тельца наблюдаются в молекулярном облаке в созвездии Тельца и в Облаке ρ Змееносца (ρ Oph). Оба эти облака удалены от нас на 460 св. лет (140 пк).

Звёзды типа Т Тельца наблюдаются только в туманностях или очень молодых звёздных скоплениях. У них низкотемпературный спектр (классов от G до M) с сильными эмиссионными линиями и широкими линиями поглощения. Их светимость больше светимости звёзд главной последовательности тех же спектральных классов, и в них

больше лития, который свидетельствует об их юном возрасте, поскольку после формирования звезды литий очень быстро разрушается в ходе термоядерных реакций.

Часто переменные типа Т Тельца окружены аккреционным диском, оставшимся после формирования звезды. Их блеск меняется из-за нестабильности диска, или бурной активности в звёздной атмосфере, или же из-за ближайших облаков пыли и газа, которые временами затмевают свет звезды.

Все звёзды типа Т Тельца делят на две большие группы по спектроскопическим характеристикам: классические звёзды типа Т Тельца и звёзды типа Т Тельца с ослабленными линиями. Это различие обусловлено свойствами аккреционных дисков. Классические звёзды типа Т Тельца имеют огромный диск, который и даёт эмиссионные линии. Звёзды второй группы окружены очень небольшим диском. Эти звёзды представляют особый интерес, так как позволяют астрономам увидеть раннюю стадию эволюции звезды, не закрытой веществом туманности. Некоторая часть вещества диска в процессе его «просветления» объединяется в плотные комки — планетезимали, из которых постепенно формируются крупные планеты. Подсчёты показывают, что около 60% звёзд типа Т Тельца возрастом менее 3 млн лет имеют пылевые диски, тогда как у звёзд возрастом более 10 млн лет пылевые диски наблюдаются всего у 10% объектов. Среди молодых звёзд родственниками звёзд типа Т Тельца являются звёзды типа FU Ориона (фуоры).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА U БЛИЗНЕЦОВ (U Gem) — катаклизмические двойные звёзды, которые внезапно и непредсказуемо увеличивают свой блеск на 2^m – 6^m (т. е. в 5–250 раз). Усиление блеска до максимума происходит менее чем за сутки, а затем в течение нескольких суток или даже недель блеск звезды слабеет и возвращается к исходному состоянию. По этой причине такие переменные звёзды называют ещё «карликовыми новыми».

Известно несколько сотен звёзд этого типа. Каждая состоит из главной звезды — белого карлика (или горячего голубого субкарлика) и его спутника — красного или

оранжевого субгиганта спектрального класса от К до М. Масса каждой из звёзд — от 0,5 до $1 M_{\odot}$, а орбитальный период системы — от 3 до 15 часов, т. е. это очень тесная двойная система. Спутник (субгигант) заполняет свою полость Роша. Его вещество вливается в аккреционный диск вокруг карлика и образует на диске горячее пятно. Вещество из внутренней части диска падает на поверхность карлика. Таким образом, суммарное излучение звезды типа U Близнецов (U Geminorum) складывается из четырёх источников: белый карлик, который является главным (т. е. наиболее ярким) компонентом системы, его более холодный спутник-субгигант, аккреционный диск вокруг карлика и горячее пятно на диске.

Большую часть времени звёзды типа U Близнецов показывают небольшие, а иногда и быстрые изменения блеска. Но временами система стремительно увеличивает свой блеск на несколько звёздных величин, а затем, за время от нескольких суток до нескольких месяцев, возвращается к нормальному блеску. Считается, что такая вспышка обусловлена взрывом на поверхности белого карлика в процессе ядерного «горения» богатого водородом вещества.

Две альтернативные теории пытаются объяснить эти вспышки. В рамках первой модели причиной вспышки считается непостоянство притока вещества в аккреционный диск. Исследователи полагают, что вспышка происходит из-за внезапного усиления переноса массы со спутника. Такое усиление потока газа может возникать из-за нестабильности в атмосфере более холодной звезды. Внезапный перенос большой массы приводит к коллапсу диска и сбросу всего вещества на белый карлик.

Вторая модель в качестве главной причины вспышки рассматривает неустойчивость дисковой аккреции. Предполагается, что перенос массы со спутника почти постоянен, но поступающий газ накапливается во внешней холодной части диска, далеко от белого карлика. Когда поверхностная плотность диска становится критической, тепловая неустойчивость в нём приводит к резкому увеличению темпа аккреции вещества на белый карлик, что и наблюда-

ется как вспышка. В настоящее время предпочтение отдаётся именно этой теории, поскольку она предлагает ясный механизм возникновения вспышки, а основанное на ней моделирование вспышки хорошо согласуется со многими характеристиками усиления блеска звёзд типа U Близнецов.

От звезды к звезде детали вспышки сильно различаются, но каждая такая переменная вспыхивает через полуправильные промежутки времени, и чем больше этот промежуток, тем сильнее вспышка. Блеск самого прототипа U Близнецов остаётся в течение 40–130 суток равным $13,5^m$, а затем за 1–2 суток возрастает до $9,5^m$. После этого в течение нескольких недель он возвращается к исходному значению. Кроме того, каждые 4 час 11 мин наблюдается вторичный минимум блеска, обусловленный затмением белого карлика его спутником.

В группу звёзд типа U Близнецов входят переменные звёзды типа SS Лебеда (SS Cyg), SU Большой Медведицы (SU UMa) и Z Жирафа (Z Cam).

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА UV КИТА (UV Cet) — красные или оранжевые карлики с эмиссионными линиями (спектральные типы dMe и dKe), проявляющие себя как эруптивные переменные звёзды. Их называют также «вспыхивающими звёздами». В течение нескольких секунд звезда типа UV Ceti может усилить свой блеск на 6^m , а затем её блеск понемногу ослабевает — сначала очень быстро, затем медленнее; к предвспышечному значению блеска звезда возвращается через несколько минут или часов. Усиление блеска в оптическом диапазоне сопровождается увеличением потока в радио- и рентгеновском диапазонах. Вспышки похожи на солнечные, но иногда значительно сильнее. А поскольку в нормальном состоянии красные и оранжевые карлики являются весьма тусклыми (их светимости в тысячи раз меньше солнечной), то вспышка такой звезды выглядит чрезвычайно эффектно. Ближайшая вспыхивающая звезда — Проксима Кентавра.

Сама UV Ceti — тусклый карлик спектрального класса M5.5Ve, входящий в двойную систему с разделением $2''$, где второй компонент (BL Cet) — тоже вспыхивающий

красный карлик. Обе звезды этой системы имеют почти одинаковый блеск (в фильтре V около $12,5^m$) и обращаются вокруг общего центра масс с периодом 26,5 лет. Масса каждой из звёзд около $0,1 M_{\odot}$, светимость около $5 \cdot 10^{-5} L_{\odot}$. Во время вспышки в 1952 г. блеск UV Cet за 20 секунд возрос в 75 раз.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА UX ОРИОНА (UX Ori) — класс очень молодых, формирующихся звёзд, проходящих стадию эволюции до главной последовательности. Звёзды этого типа имеют околозвёздные диски, видимые с ребра. В дальнейшем эти звёзды могут стать системами типа β Pic с протопланетными дисками. Прототипом «уксоров» является переменная звезда UX Ориона.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА W БОЛЬШОЙ МЕДВЕДИЦЫ (W UMa) — затменные двойные системы с очень короткими периодами — от нескольких часов до суток. В звёздах типа W Большой Медведицы (W Ursae Majoris) компоненты спектральных классов F и G расположены вблизи главной последовательности. Звёзды образуют контактную двойную систему, своей гравитацией придавая друг другу вытянутую форму. Главный и вторичный минимумы практически одинаковы: их амплитуда от $0,6^m$ до $0,8^m$. Изменение блеска происходит непрерывно, поэтому неясно, когда начинается и когда заканчивается затмение. Сама система W Большой Медведицы расположена на расстоянии 162 св. лет и состоит из двух похожих на Солнце звёзд.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА W ДЕВЫ (W Vir) — пульсирующие переменные населения II типа с периодами от 1 до 35 суток; их ещё называют цефеидами II типа. Хотя у звёзд типа W Девы наблюдается зависимость период–светимость, характерная для цефеид, но она отличается от той зависимости, которой подчиняются цефеиды I типа, т. е. звёзды типа δ Cep. Звёзды типа W Vir обычно на $1,5^m$ слабее своих родственников I типа и их массы меньше массы Солнца. Это говорит о том, что они находятся на другой стадии эволюции. Они имеют характерную кривую блеска с амплитудой от $0,3^m$ до $1,2^m$ и горбом на нисходящей ветви. Этот тип делится на две подгруппы: долгопериодические звёзды типа W Vir

(к ним относится сама W Vir) с периодами более 8 суток и короткопериодические — с периодами менее 8 суток. В эту подгруппу входит звезда BL Her.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА WZ СТРЕЛЫ (WZ Sge) — разновидность звёзд типа SU UMa (карликовые новые), у которых интервалы между супервспышками очень длинные — десятки лет, тогда как промежутки между обычными вспышками более короткие. Сама звезда WZ Стрелы (WZ Sagittae) продемонстрировала супервспышки с интервалами между ними в 33, 32 и 23 года, а обычных вспышек у неё не наблюдается. Исходя из масштаба её первой вспышки в 1913 г. эта звезда была отнесена к классическим новым и названа Nova Sagittae 1913. Когда в 1946 г. она вновь вспыхнула, её посчитали повторной новой. Последующие наблюдения показали, что это белый карлик со спутником, имеющим орбитальный период 81 мин 38 сек, что намного короче периода любой повторной новой. В спектре звезды нет широких эмиссионных линий, характерных для карликовых новых. Вспышка 1978 г. позволила обнаружить на кривой блеска «сверхгорбы», что как раз характерно для карликовых новых типа SU UMa. Поэтому теперь звезду WZ Sge считают прототипом подкласса переменных типа SU UMa. Другие звёзды этого подкласса, включая AL Com и EG Cnc, имеют интервалы между супервспышками около 20 лет.

Длительность интервала между супервспышками, по-видимому, отражает темп переноса массы. У звёзд типа WZ Sge этот темп очень мал, примерно 10^{12} кг/с. То есть требуются десятилетия, чтобы накопилась достаточная масса газа для супервспышки. Но остаётся загадкой, почему у этих звёзд почти или совсем нет обычных вспышек. Даже при малом темпе переноса массы вещество должно накапливаться и под действием вязкости перемещаться во внутреннюю часть диска, запуская вспышку. Одной из причин, почему этого не происходит, может быть малая вязкость. В этом случае вещество остаётся во внешней части диска и накапливается там до начала супервспышки. Но объяснить малую вязкость очень трудно. В качестве другой причины рассма-

тривают возможность удаления внутреннего диска для предотвращения начинающихся там вспышек. Это может происходить в результате эффекта сифона или под действием магнитного поля белого карлика.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА YY ОРИОНА (YY Orionis, YY Ori) — экстремально молодые звёзды. Они находятся на стадии эволюции, предшествующей стадии Т Тельца. Это звёзды поздних спектральных классов, имеющие очень маленькую массу. Звёзды этого типа пребывают на стадии гравитационного сжатия, поэтому на их поверхность происходит аккреция вещества из протозвёздного облака. В их спектрах линии имеют обратные (перевернутые) профили типа P Cyg, что свидетельствует об оседании вещества на звезду со скоростью 300–400 км/с.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА Z АНДРОМЕДЫ (Z And) — симбиотические звёзды, подтип катаклизмических переменных. Каждая такая звезда представляет собой тесную двойную систему, в которой горячая звезда ионизует часть протяженной газовой оболочки, источником которой служит второй, более холодный, компонент системы (спектрального класса M, R, N или S). Комбинированный спектр системы представляет собой наложение абсорбционного и эмиссионного спектров. Система демонстрирует нерегулярные изменения с амплитудой от 1^m до 4^m в визуальных лучах, характерные для симбиотических звёзд.

Большое количество симбиотических звёзд и недостаток наших знаний о них делают их классификацию весьма запутанной. В «Общем каталоге переменных звёзд» (ОКПЗ) звёзды типа Z Андромеды представлены как подгруппа симбиотических переменных, а сама Z And считается прототипом не только своего подтипа, но и вообще всех симбиотических звёзд. А такие объекты, как RR Tel, R Aqu и CN Cyg, имеют характеристики, заметно выделяющие их из группы симбиотических звёзд.

Переменность Z And в 1901 г. обнаружила Вильямина Флеминг на фотопластинках обсерватории Гарвардского колледжа. Она же выявила спектральные особенности этой звёзды, характерные для новоподобных переменных. Эта звезда, полуправильная пе-

ременная 11^m спектрального класса М, большую часть времени проводит в спокойном состоянии. В этом состоянии у неё наблюдаются небольшие изменения блеска с периодом около 700 суток. Но каждые 10–20 лет Z And становится очень активной и увеличивает яркость примерно на 3^m . После этой вспышки наблюдается серия вспышек, амплитуда которых постепенно уменьшается, и звезда ослабевает до спокойного состояния. Возрастание яркости происходит либо внезапно, либо же ему предшествует небольшая вспышка. Максимума блеска звезда достигла в 1939 г.: $7,9^m$ в визуальных лучах. Во время вспышки объект голубеет, в его спектре доминирует горячая компактная звезда с оболочкой. У спектральных линий возникают профили типа Р Суг, которые показывают смещение абсорбционных линий в голубую сторону. Это говорит о существовании расширяющейся оболочки, как при вспышке новой. Когда доминирующее в спектре свечение оболочки ослабевает, звезда краснеет, профили Р Суг пропадают, спектр оболочки исчезает, и звезда возвращается в исходное состояние.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА Z ЖИРАФА (Z Cam) — звёзды, относящиеся к одному из трёх подтипов переменных типа U Gem (карликовые новые). См. *Жираф*.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА ZZ КИТА (ZZ Cet) — белые карлики, которые к тому же являются пульсирующими переменными и меняют свой блеск на $0,001^m$ – $0,2^m$ за время от 30 секунд до 25 минут. У них происходят нерадиальные пульсации со многими периодами, которые приводят к небольшому изменению размера звёзд, но вызывают сильное изменение температуры поверхности. Различают три подтипа: ZZA со спектром типа DA (линии поглощения водорода), ZZB со спектром типа DB (линии поглощения гелия) и ZZO, иногда называемый звёздами типа GW Девы (GW Vir) с экстремально горячим спектром типа DO. Иногда у звёзд ZZ Кита (ZZ Cet) наблюдаются вспышки с амплитудой примерно 1^m , но видимо они обусловлены звездой-спутником типа UV Cet.

ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ ТИПА АЛГОЛЯ — затменные переменные звёзды, прототипом которых служит звезда Алголь (β Пер-

сей). У звёзд этого типа наблюдаются периоды постоянного или почти постоянного блеска между минимумами. Это говорит о том, что две звезды образуют тесную двойную систему разделенного или полуразделенного типа. Известны тысячи таких звёзд. Их периоды составляют примерно от 5 часов до 30 лет, а блеск может меняться на несколько звёздных величин. В большинстве таких систем происходит перенос массы от одной звезды к другой. Чаще — в результате прямой аккреции, без формирования аккреционного диска. Но существует группа затменных двойных с переносом массы, известных как звёзды типа W Змеи (W Serpentis) или «гиперактивные звёзды типа Алголя», которые обладают аккреционным диском и, возможно, находятся в предалгольной стадии эволюции. Звёзды типа Алголя очень интересны, так как дают возможность определить массу и размер звёзд.

ПЕРИГЕЙ — ближайшая к Земле точка орбиты Луны или искусственного спутника.

ПЕРИГЕЛИЙ — ближайшая к Солнцу точка орбиты планеты или иного тела в Солнечной системе.

ПЕРИЦЕНТР — ближайшая к центральному телу точка эллиптической, параболической и гиперболической орбиты. Корень «центр» можно заменить греческим названием небесного тела. Например, для орбит вокруг Земли говорят перигей, а вокруг Солнца — перигелий.

ПЕРСЕИДЫ — метеорный поток, один из наиболее мощных и известных. Активен в период приблизительно с 20 июля по 20 августа каждого года. Максимальная активность наблюдается около 12 августа. Название потока связано с тем, что его радиант располагается в созвездии Персей, т. е. метеоры выглядят летящими со стороны этого созвездия. Для наблюдателя в средней полосе России в районе полуночи созвездие Персей располагается в северо-восточной части неба. Геоцентрическая скорость частиц потока 60 км/с. Зенитное часовое число метеоров в максимуме активности около 100. Родоначальницей потока считается периодическая комета 109P/Свифта — Тутля.

ПЕРСЕЙ — северное созвездие, целиком расположенное в Млечном Пути к северо-вос-

току от Андромеды. Согласно мифу, Персей был сыном Зевса и царевны Данаи; он победил горгону Медузу и спас Андромеду от морского чудовища. Ярчайшая звезда α Пер носит арабское имя Мирфак, что значит «локоть». Этот жёлтый сверхгигант, удалённый на 600 св. лет, служит центром богатой группы ярких звёзд, известной как Скопление α Персея. Самой знаменитой затменной переменной звездой является Алголь (β Per), что по-арабски значит «голова демона». Её переменность впервые заметил между 1667 и 1670 гг. Джеминиано Монтанари (1633–1687) из Модены (Италия). А в 1782 г. английский астроном Джон Гудрайк (1764–1786) открыл периодичность в изменении её блеска: с периодом 2 сут 20 час 49 мин блеск звезды сначала уменьшается с $2,1^m$ до $3,4^m$, а спустя 10 часов возвращается к исходному значению. Такое поведение Алголя натолкнуло Гудрайка на мысль, что уменьшение блеска звезды происходит в результате затмений: в двойной звёздной системе периодически более тёмный компонент частично затмевает более яркий. В 1889 г. немецкий астроном Герман Фогель (1841–1907) подтвердил гипотезу Гудрайка, открыв спектральную двойственность Алголя. Гудрайк был талантливым и хорошо образованным юноша, глухонемой с детства; он открыл также и переменность двух других ярких звёзд — β Лир (1784 г.) и δ Цефея (1784 г.), которые, как и Алголь, стали прототипами важных классов переменных звёзд.

ПЕРТУРБАЦИОННЫЙ МАНЁВР — то же, что *Гравитационный манёвр*.

ПЕЧЬ — экваториальное созвездие, введенное Н. Лакайлем в 1763 г. под именем Химическая Печь. Лежит к югу от Кита и Эрида, ярких звёзд не имеет. В нём видна карликовая галактика Печь, член Местной группы галактик, удалённый от Солнца на 450 тыс. св. лет.

ПЛАНЕТА — небесное тело, обращающееся вокруг звезды или звёздного остатка, и при этом достаточно массивное для того, чтобы под действием собственной гравитации принять сфероидальную форму и очистить окрестности своей орбиты от подобных ему тел, но не настолько массивное, чтобы в его недрах протекали термоядерные реакции

с участием дейтерия. Указанный диапазон масс приблизительно простирается от 1% массы Луны до 13 масс Юпитера. В Солнечной системе этим условиям удовлетворяют только Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Иногда их называют классическими планетами Солнечной системы. Если такое тело обращается вокруг более крупного подобного тела, то его называют спутником (пример — Луна, спутник Земли). Точнее было бы назвать такое тело планетой-спутником.

ПЛАНЕТА-ГИГАНТ — крупная планета, по массе близкая к Юпитеру или Сатурну, имеющая низкую среднюю плотность, в основном состоящая из летучих веществ (водород, гелий, кислород и др.).

ПЛАНЕТА ЗЕМНОЙ ГРУППЫ — одна из четырёх ближайших к Солнцу планет, по размерам, плотности и внутреннему строению сходная с Землёй. В эту группу входят Меркурий, Венера, Земля и Марс. Иногда их называют внутренними планетами.

ПЛАНЕТА-КАРЛИК (dwarf planet) — новый класс объектов Солнечной системы, введенный 24 августа 2006 г. решением XXVI Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза (14–25 августа 2006 г., Прага). Планета-карлик удовлетворяет следующим условиям:

- обращается вокруг Солнца;
- не является спутником планеты;
- обладает достаточной массой, чтобы сила тяжести превосходила сопротивление вещества, и поэтому тело планеты пребывало в состоянии гидростатического равновесия (а значит, имело форму, близкую к сферической);
- обладает не настолько большой массой, чтобы быть способной расчистить окрестности своей орбиты.

Прототипом планет-карликов и самым крупным представителем этого класса стал Плутон (диаметр 2377 км), а вторым по размеру — Эрида (2330 км), которая чуть массивнее Плутона. Тремя другими и пока последними членами этой группы являются Хаумея (1200 км), Макемаке (1500 км), а также Церера (около 950 км), ранее считавшаяся крупнейшим астероидом Главного пояса.

ПЛАНЕТА-СПУТНИК — новый термин, который предлагается использовать для обозначения объектов, имеющих физические признаки планеты, но в своем орбитальном движении подчинённых более крупной соседней планете. Планета-спутник удовлетворяет следующим условиям:

- обладает достаточной массой, чтобы сила тяжести превосходила сопротивление вещества, и поэтому тело планеты пребывало в состоянии гидростатического равновесия (а значит, имело форму, близкую к сферической);

- является спутником более массивной планеты.

Прототипом планет-спутников служит Луна. Важнейший признак планеты — её способность силой собственного тяготения придать себе сфероидальную форму. На это способны только крупные тела — ледяные диаметром более 400 км и каменные диаметром более 900 км. Если состав тела точно не известен, то для надёжности можно принять пограничное значение равным 1000 км и все более крупные спутники определить в группу планет-спутников (табл.). Среди объектов Солнечной системы этому критерию удовлетворяют 16 тел, и все они действительно имеют сферическую форму.

Планета-спутник	Диаметр, км	Масса, 10^{20} кг	Плотность, г/см ³	Планета-хозяин
Луна	3475	735	3,3	Земля
Ио	3643	893	3,5	Юпитер
Европа	3122	480	3,0	
Ганимед	5262	1482	1,9	
Каллисто	4821	1076	1,8	
Тетия	1066	6,2	1,0	Сатурн
Диона	1123	11	1,5	
Рея	1530	23	1,2	
Титан	5150	1347	1,9	
Япет	1470	18	1,1	Уран
Ариэль	1158	13,5	1,6	
Умбриэль	1170	12	1,5	
Титания	1578	35	1,7	
Оберон	1523	30	1,6	Нептун
Тритон	2705	214	2,1	
Харон	1207	18	1,7	Плутон

Однако и среди спутников меньшего размера тоже могут найтись достаточно планетичные объекты, способные сферизовать

себя собственными силами. Это возможно, если в составе небольшого спутника много льдов. Поэтому спутники диаметром от 400 до 1000 км являются кандидатами в планеты-спутники; таких оказалось три. Два из них — Энцелад (спутник Сатурна) и Миранда (спутник Урана) — сферические, а наименьший среди кандидатов — Протей (спутник Нептуна) — имеет угловатую форму. Возможно, нижняя граница диаметров планет-спутников близка к 450 км, но это ещё предстоит уточнить.

Лит.: Сурдин В. Г. «Разведка далёких планет», М.: Физматлит, 2011–2017.

ПЛАНЕТАРИЙ — оптический прибор для проекции на внутреннюю поверхность полусферического купола изображений звёзд, планет, Солнца, Луны и других небесных объектов с соблюдением их относительной яркости, положения и движения. Планетарий показывает картину неба при наблюдении из любой точки на Земле в любой момент как в прошлом, так и в будущем. Планетарием называют также помещение, в котором установлен этот проектор. Планетарии используются в астрономическом образовании и существенно помогают в популяризации космических исследований. По выражению известного датского астронома, профессора Копенгагенского университета Элиса Стрёмгрена, «планетарий — это школа, театр и кино одновременно, школьный класс под небесным сводом и спектакль, в котором актёрами являются небесные тела».

ПЛАНЕТАРНЫЕ ТУМАННОСТИ — расширяющиеся газовые туманности вокруг старых звёзд умеренной массы, образованные верхними истекающими слоями атмосферы звезды. Планетарная туманность светится в оптическом диапазоне, поскольку её газ нагрет ($T \approx 10\,000$ К) и возбуждён ультрафиолетовым излучением горячего ($T \approx 70\text{--}150$ тыс. К) остатка звезды. Первые планетарные туманности были открыты В. Гершелем около 1783 г. и названы так за их внешнее сходство с дисками планет. Однако далеко не все планетарные туманности имеют форму диска: многие имеют форму кольца или симметрично вытянуты вдоль некоторого направления (биполяр-

ные туманности). Внутри них заметна тонкая структура в виде струй, спиралей, тонких оболочек и глобул. Скорость расширения планетарных туманностей 20–40 км/с, диаметр 0,01–0,1 пк, типичная масса около $0,1 M_{\odot}$, время жизни около 10 тыс. лет.

ПЛАНЕТЕЗИМАЛИ (англ. *planetesimal*, от *planet* планета и *infinitesimal* бесконечно малая величина) — мелкие твёрдые тела типа метеороидов и маленьких астероидов (иногда верхней границей их диаметра считают 10 км), состоящие из льдов и тугоплавких веществ, образовавшиеся в протопланетной туманности и послужившие материалом при формировании больших планет, некоторых их спутников и крупных астероидов. Термин ввели американские учёные — геолог Томас Чемберлин (1843–1928) и астроном Форест Мультон (1872–1952) при разработке космогонической гипотезы, альтернативной небулярной гипотезе Канта и Лапласа. В 1904 г. они предложили приливную гипотезу возникновения Солнечной системы; согласно ей в результате тесного сближения Солнца с другой звездой из них произошел выброс вещества, которое быстро остыло и затвердело, образовав небольшие сгустки — планетезимали. Наиболее крупные сгустки послужили ядрами, вокруг которых путём аккреции мелких планетезималей сформировались планеты и системы их спутников. Позже эту гипотезу развивал английский астрофизик Джеймс Джинс (1877–1946), но она встретила непреодолимые трудности при попытке объяснить большой орбитальный момент планет. Однако термин «планетезимали» сохранился в астрономии, хотя происхождение планет связывают теперь с конденсацией вещества первичной туманности, в центре которой сформировалось Солнце, а на периферии — планеты.

ПЛАНКОВСКАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЯ — «естественная» система, предложенная Максом Планком в 1899 г. Все единицы измерения получаются в ней путём комбинации мировых констант: скорости света (c), постоянной тяготения (G), постоянной Планка ($\hbar$).

ПЛАНКОВСКАЯ ДЛИНА — масштаб, ниже которого квантовые флуктуации структу-

ры пространства-времени становятся весьма велики; в теории струн это характерный размер струны. Планковская масса ($\sim 10^{-5}$ г) близка к массе небольшой пылинки; это характерная масса колеблющейся струны в теории струн. Планковская энергия (около 500 кВт ч) — это энергия, которую необходимо сообщить частице для изучения её структуры и взаимодействий на масштабах планковской длины; в теории струн это характерная энергия колеблющейся струны. Планковское натяжение ($\sim 10^{40}$ т) — характерное натяжение струны в теории струн.

Планковские единицы измерения

Величина	Численное значение
Длина $l_p = (\hbar G/c^3)^{1/2}$	$1,62 \cdot 10^{-35}$ м
Время $t_p = (\hbar G/c^5)^{1/2}$	$5,39 \cdot 10^{-44}$ с
Масса $m_p = (\hbar c/G)^{1/2}$	$2,18 \cdot 10^{-8}$ кг
Энергия $m_p c^2 = (\hbar c^5/G)^{1/2}$	$1,96 \cdot 10^9$ Дж
Натяжение $m_p l_p / t_p^2 = c^4/G$	$1,22 \cdot 10^{44}$ Н

ПЛЕРИОН — один из типов расширяющейся газовой туманности, образовавшейся при взрыве сверхновой звезды (см. *Остаток сверхновой*). По наблюдениям в радиодиапазоне все остатки сверхновых делят на два типа: 1) «классические» оболочечные и 2) плерионы. Первые характеризуются ростом радиояркости от центра к периферии, что указывает на концентрацию излучающего вещества в оболочке. У плерионов радиояркость, наоборот, увеличивается к центру, что говорит о более или менее равномерном распределении излучающего вещества по объёму остатка. Термин «плерион» произошел от греческого «pleres», что переводится как «заполненный». В английской литературе столь же употребительным является термин «Crab-like», но его русский эквивалент — «подобный Крабовидной туманности» — выглядит слишком громоздко.

ПЛЕЯДЫ — рассеянное звёздное скопление (М45) в созвездии Телец, 5–7 звёзд которого различимы невооружённым глазом и образуют «ковшик» размером чуть больше лунного диска. В народе Плеяды часто называют «Семь сестер» или Стожары. В бинокль в Плеядах видны десятки звёзд, а в телескоп их можно обнаружить более тысячи. Девять ярчайших его звёзд названы в честь

титана Атласа, океаниды Плейоны и их семи дочерей: Альциона, Астеропа, Майя, Метропа, Тайгета, Целено и Электра. Самая яркая из всех — Альциона (3^m). Плеяды — одно из ближайших к нам звёздных скоплений (420 св. лет; 120–140 пк); его возраст около 100 млн лет, а масса около $800 M_{\odot}$. Радиус ядра 2,5 пк, приливный радиус 13,2 пк.

ПЛОСКОСТЬ ЛАПЛАСА — плоскость, в которой происходит прецессия узла орбиты спутника планеты. Дело в том, что у внешних спутников наклонение орбиты к экватору планеты меняется из-за прецессии их орбитальной плоскости. Например, у Луны оно меняется от 18° до 29° с периодом 18,61 года, но при этом сохраняется наклонение в 5° относительно орбитальной плоскости Земли, т. е. относительно эклиптики. Поэтому для некоторых спутников наклонение орбиты удобнее указывать относительно местной плоскости Лапласа, в которой происходит прецессия узла орбиты спутника. Отдельно указывается наклонение плоскости Лапласа к экватору планеты.

ПОЗИТРОН — антиэлектрон, т. е. элементарная частица, аналогичная электрону (имеет такую же массу), но с электрическим и лептонным зарядами противоположного знака. Электрический заряд позитрона положительный, в точности такой же, как у протона. При встрече электрон и позитрон аннигилируют (взаимно уничтожаются), рождая при этом 2–3 γ -кванта.

ПОЗИЦИОННЫЙ УГОЛ, или **угол положения** (θ), — угол на небесной сфере, который характеризует взаимное расположение

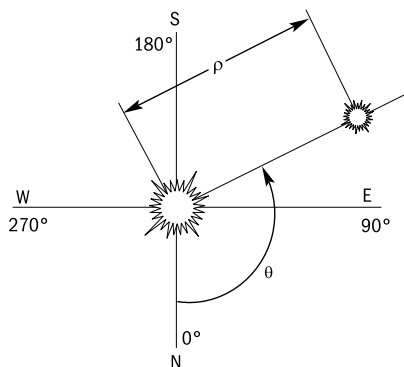
двух светил. Для полной характеристики положения его дополняют угловое расстояние между светилами (r), которое также называют разделением. Позиционный угол светила В относительно светила А — это угол между дугой АВ и кругом склонений, проходящим через точку А. Отсчитывается от северной части круга склонений против часовой стрелки от 0° до 360° . Иными словами, это угол между направлением на северный полюс мира и линией АВ, измеренный в градусах в направлении север — восток — юг — запад. При измерении позиционного угла двойной звезды за основание угла принимают главный (более яркий) компонент А.

ПОИСК ЖИЗНИ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ — комплекс астрономических наблюдений и космических экспериментов, направленный на поиск жизни на телах Солнечной системы за пределами Земли.

Поиск жизни на больших планетах и планетах-спутниках. Солнечная система предоставляет чрезвычайно разнообразные «полигоны» для астробиологических исследований: холодные газовые гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), твёрдые карлики — от горячего Меркурия до ледяного Титана, планеты с атмосферами различной плотности — от газового океана Венеры до разреженной, как стратосфера оболочки Марса. Внимание экзобиологов привлекают и планеты-спутники (Европа, Титан, Ио, Тритон,...), где условия для жизни могут быть благоприятнее, чем на их родительских планетах. Весьма интересны льды кометных ядер и углеродистые недра астероидов.

Планета-спутник Луна. В Солнечной системе Луна, как и Земля, занимает наиболее благоприятное для жизни место — самую середину так называемой «зоны жизни». Чуть ближе к Солнцу слишком жарко (пример — Венера), а чуть дальше от Солнца слишком холодно (Марс). И только на орбите Земли — Луны средняя температура поверхности планеты немного выше нуля по Цельсию — идеальная температура для органической формы жизни. Действительно, на Земле жизнь есть. Так почему бы ей не быть и на Луне?

Ответ кажется очевидным: для известной нам формы жизни важна не только под-



Позиционный угол (θ) и разделение (ρ) двойной звезды

ходящая средняя температура, но и отсутствие сильных колебаний температуры, а на лишённой атмосферы Луне эти колебания значительно сильнее, чем на Земле. Второе неблагоприятное свойство лунной поверхности — отсутствие жидкой или газовой среды: в вакууме живая клетка быстро высыхает, и активные биологические процессы в ней прекращаются. Однако к середине XX в. биологи убедились в высокой приспособляемости живых организмов. Поэтому вопрос о жизни на Луне вновь стал актуальным, особенно в 1960-е гг. при подготовке лунных экспедиций. Радиоастрономические измерения показали, что не прикрытая атмосферой поверхность Луны днём нагревается Солнцем до $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$, а ночью остывает до $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако под верхним слоем лунного грунта, уже на глубине 1 м почти не ощущаются колебания температуры: там постоянно около $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поскольку нельзя было исключить, что в таких условиях жизнь возможна, то в первых лунных экспедициях соблюдались строгие условия карантина: после возвращения на Землю астронавтов три недели держали в изолированной камере, чтобы убедиться в отсутствии внеземных форм жизни.

Сотни килограммов лунного грунта были подробно исследованы в лаборатории, но следов органической жизни не обнаружилось. Теперь ясно, что ещё одна недооценённая ранее функция земной атмосферы — это защита живых организмов от влияния космической радиации. На открытую лунную поверхность беспрепятственно попадают губительные для жизни ультрафиолетовые и рентгеновские солнечные лучи, а также заряженные космические частицы, которые на Земле в основном задерживаются в атмосфере. Поэтому сейчас учёные уверены: на поверхности Луны условий для жизни нет; органическая жизнь не могла там зародиться и не может поддерживаться.

Большие планеты и их спутники. До сих пор Луна остаётся единственным небесным телом, образцы вещества которого были аккуратно доставлены на Землю и детально изучены на предмет биологической активности. В принципе такой анализ можно проводить на поверхности изучаемой планеты,

оснатив спускаемый аппарат автоматической биолaborаторией, что и было сделано несколько раз при исследовании Марса (см. ниже). На прочих телах, атмосферы и поверхности которых достигли спускаемые аппараты (Венера, Юпитер, Титан, астероиды и ядра комет), отсутствовали астробиологические приборы. Возможен и дистанционный поиск индикаторов жизни, например, путём спектрального анализа атмосферы и поверхности планеты: пока это единственный источник астробиологических данных обо всех объектах Солнечной системы, кроме Луны и Марса.

Дистанционные исследования показали, что Меркурий непригоден для жизни: на нём отсутствуют атмосфера и вода (возможны лишь залежи льда в полярных кратерах), а колебания температуры поверхности чрезвычайно высоки: от $+420\text{ }^{\circ}\text{C}$ днём до $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ ночью. У поверхности Венеры жизнь также невозможна, поскольку там постоянно высокая температура ($+460\text{ }^{\circ}\text{C}$) при которой плавится свинец. Однако не исключена возможность жизни в верхнем слое облаков Венеры, где условия гораздо мягче, но пока это лишь гипотеза. Первый факт в её пользу был получен в 2020 г. при обнаружении линий молекулы фосфина (PH_3), источником которого могут быть микроорганизмы.

Кроме Марса и Венеры, ни одна из планет не вызывает у экзобиологов пристального интереса. Плутон, Харон, Эрида и другие планеты-карлики пояса Койпера, почти лишённые солнечного тепла и не обладающие значительными внутренними источниками энергии, считаются абсолютно непригодными для жизни. В отношении планет-гигантов существует умеренный оптимизм, поскольку в их атмосферах обнаружено много простейших органических молекул; но все же трудно поверить, что при отсутствии твёрдой поверхности (а у планет-гигантов её практически нет) может существовать жизнь.

Как оказалось, значительно большее сходство с Землёй имеют не сами планеты-гиганты, а некоторые их спутники — Титан, Европа, Энцелад, Ганимед, Тритон, Ио. Например, у Титана — спутника Сатурна — есть не только азотная атмосфера с орга-

ническими компонентами, но и твёрдая поверхность, где могут скапливаться продукты синтеза. Правда, температура этой поверхности (-180°C) скорее подходит для сжижения кислорода. Первые эксперименты в атмосфере и на поверхности Титана провёл 14 января 2005 г. посадочный аппарат «Гюйгенс», который в составе межпланетного зонда «Кассини» (NASA, ESA) летом 2004 г. прибыл в систему Сатурна.

Хотя на поверхности Титана нет жидкой воды, там имеются большие озёра жидкого метана и этана. Испаряясь, эти жидкости собираются в облака и время от времени выпадают в виде проливных дождей и могучими реками стекают в озёра. Одним словом — происходит круговорот метана в природе Титана, аналогичный круговороту воды на Земле.

Некоторые теоретические модели показывают, что Титан может поддерживать жизнь не на водной основе, хотя не все учёные с этим согласны. Атмосфера Титана плотная, химически активная и богатая органическими соединениями; эти факты подтолкнули учёных к предположению о наличии жизни или предпосылок для зарождения жизни, особенно в верхних слоях атмосферы. Атмосфера Титана содержит водород, а метан может сочетаться с некоторыми из органических соединений (например, с ацетиленом) для получения энергии и развития жизни.

Кроме того, условия для жизни могут быть благоприятными в недрах Титана, поскольку на любой планете с глубиной растёт температура. Расчёты указывают на возможность существования под поверхностью Титана океана из воды и аммиака. В 2010 г. на основе анализа данных «Гюйгенса» и «Кассини» специалисты сообщили об аномалиях в атмосфере Титана, вблизи его поверхности. Возникла гипотеза о «дыхании» примитивных биологических организмов, которые могли бы поглощать газообразный водород и питаться молекулами ацетилена; при этом в процессе их жизнедеятельности образовывался бы метан. В итоге на Титане наблюдалась бы нехватка ацетилена и снижение содержания водорода около поверхности. Таким образом, жизнь

на Титане остаётся открытым вопросом и темой для научных исследований.

Повышенное внимание астробиологов привлекают также спутник Юпитера Европа и спутник Сатурна Энцелад, хотя и лишённые атмосферы, но имеющие под своей ледяной поверхностью океан жидкой воды комнатной температуры. Поэтому сейчас активно разрабатываются проекты космических зондов, способных опуститься на поверхность этих спутников и взять биологические пробы из их океанов в поисках следов жизни.

Марс. Астробиологи всегда возлагали на Марс большие надежды, но лишь космические полёты дали реальную возможность для практического поиска жизни на его поверхности. Обнаруженные на Марсе с помощью пролетных и орбитальных аппаратов русла высохших рек убеждали учёных, что на планете могла быть вода. К тому же приемлемый для жизни диапазон температуры (почти такой же, как в Антарктиде) указывал, что на Марсе могли бы существовать микробы и простейшие формы растений. Поэтому одной из приоритетных задач космической программы США был поиск жизни на Марсе. Эта работа достигла кульминации в 1976 г., когда две автоматические станции «Викинг» опустились на поверхность Марса и проработали на ней несколько лет. В состав каждой станции входило три прибора для микробиологических экспериментов с марсианским грунтом:

Эксперимент «Газовый обмен». Несколько граммов грунта смачивали раствором, богатым питательными веществами, и затем с помощью газового хроматографа следили за изменением химического состава газов над смесью грунта и питательных веществ. Такие изменения могли произойти в результате жизнедеятельности марсианских микроорганизмов. На Земле этот эксперимент обнаружил бы существование жизни по изменению содержания кислорода, углекислого газа или водорода в воздухе над грунтом, вызванным обменом веществ живых организмов, содержащихся в пробе, с окружающей средой.

Эксперимент «Разложение метки». Для более прямой проверки биологической ак-

тивности использовался набор органических соединений, меченных путём замены части обычных атомов углерода радиоактивными атомами ^{14}C . Этими соединениями смачивалась проба грунта. Если бы любой организм потребил часть этих меченых молекул (отсюда название «разложение метки»), то при прогревании пробы грунта, в которой он жил, в газе над образцом была бы зарегистрирована радиоактивность. На Земле такой эксперимент называют «дыханием грунта», так как он показывает, выделяют ли микроорганизмы газ в атмосферу.

Описанные эксперименты имеют два основных недостатка. Во-первых, в настоящее время на Марсе практически нет жидкой воды, поэтому водная среда может оказывать совершенно непривычной для марсианских бактерий. Во-вторых, органические питательные вещества, «лакомые» для земных организмов, могли оказаться ядовитыми для марсианских. Этих недостатков был лишён третий биологический эксперимент:

Эксперимент «Пиролизное разложение». Проба грунта помещалась в камеру, где обычная марсианская атмосфера заменялась эквивалентной смесью газов, меченых радиоактивными атомами углерода. Внутреннее освещение камеры обеспечивалось ксеноновой лампой с фильтром, задерживающим ультрафиолетовое излучение, чтобы исключить возможность фотохимических реакций, имитирующих биологическую активность. После того как предполагаемые марсианские организмы имели возможность пожить некоторое время в этой среде, камера промывалась инертным газом для удаления непрореагировавших остатков радиоактивной атмосферы.

Затем проводился пиролиз – прокаливание образца грунта до температуры $625\text{ }^{\circ}\text{C}$. Получаемая газовая смесь содержала продукты пиролиза и непрореагировавшие исходные газы, которые адсорбировались на частицах грунта. После этого газовую смесь пропускали через колонку с окисью меди, которая задерживает органические молекулы, но не адсорбирует $^{14}\text{CO}_2$ и ^{14}CO , поступающие в детектор. Их радиоактивность регистрировалась счётчиком. Затем температура в колонке повышалась до $750\text{ }^{\circ}\text{C}$. В ре-

зультате должно было происходить окисление адсорбированных органических соединений до меченого углекислого газа и его вытеснение в детектор радиоактивности. Именно данная фракция $^{14}\text{CO}_2$ должна была служить показателем биологической активности взятых образцов грунта.

Результаты этих экспериментов, проведённых на борту «Викингов», выявили довольно высокую химическую активность грунта, но детальный анализ показал, что она могла иметь неорганическую природу: марсианский грунт может содержать химические вещества типа перекисей (например, перекись водорода H_2O_2), которые реагируют с простыми органическими соединениями с выделением углекислого газа. Данные лишь одного из биологических экспериментов можно было интерпретировать как указание на возможность жизни. Однако на борту «Викингов» имелся ещё один, очень чувствительный, физический прибор, способный регистрировать органические молекулы в любой, не обязательно живой, форме. Он сочетал в себе газовый хроматограф и масс-спектрометр. Пробы грунта нагревались в специальной печке для выделения летучих веществ, которые затем проходили через хроматографическую колонку, разделялись и попадали в масс-спектрометр, определявший молекулярный вес соединений. Ни в одной из проб грунта в двух местах посадки аппаратов не были обнаружены органические вещества, а лишь вода и углекислый газ, что неудивительно, поскольку они содержатся в атмосфере планеты. Таким образом, этот эксперимент, не показавший наличия органических молекул, убедительно отрицает наличие жизни. Сейчас учёные согласны, что в местах посадки «Викингов» на Марсе жизнь не обнаружена и что неясные химические процессы с участием перекисей имитировали проявление жизни в биологических экспериментах.

С середины 1990-х гг. изучение Марса вновь активизировалось. Этому способствовала находка в Антарктиде марсианского метеорита ALH 84001, который, по мнению некоторых учёных, содержит следы биосферы Марса. В 1997 г. на околоса-

анскую орбиту был выведен аппарат «Марс Глобал Сервейор» (Mars Global Surveyor, США), позволивший получить детальные (с разрешением до 1,5 м) изображения поверхности планеты. Стало очевидно, что в истории Марса были периоды более благоприятные для жизни. Есть признаки того, что климат Марса существенно менялся: в далёком прошлом по его поверхности текла вода: на ней ясно видны следы водной эрозии — овраги и пустые русла рек. В ноябре 2006 г. «Марс Глобал Сервейор» прекратил передавать данные, но буквально в эти же дни на околомарсианской орбите начал наблюдения значительно более мощный «Орбитальный разведчик Марса» (Mars Reconnaissance Orbiter, США). На его снимках поверхности Марса, полученных с высоты 300 км, различимы детали размером всего 30 см; при этом ширина полосы захвата на снимке составляет 6 км. На этих снимках видно много замечательных геологических деталей, но прямых признаков жизни не заметно.

В 1997 г. мягкую посадку на Марс совершил зонд «Марс Пасфайндер» (США), доставивший первый автоматический марсоход «Соджорнер», который обнаружил признаки мощных водных течений в геологическом строении поверхности. Это подтвердили и самоходные лаборатории «Спирит» и «Оппортьюнити» (США), опустившиеся на Марс в начале 2004 г. К сожалению, все эти самоходные аппараты не были оснащены приборами для поиска веществ биогенного происхождения. Такие приборы были на борту спускаемого аппарата «Бигль-2», который в 2003 г. в составе европейского зонда «Марс Экспресс» отправился для поиска следов жизни на Марсе, но не смог благополучно сесть на поверхность.

Успешно сел в полярной области Марса аппарат «Феникс» (Phoenix, США) и работал с мая по ноябрь 2008 г. Он имел оригинальный комплекс приборов, включающий в себя оптический и сканирующий атомно-силовой микроскопы, а также масс-спектрометр. «Феникс» надёжно зафиксировал наличие водяного льда в грунте и признаки жидкой воды. Большим сюрпризом для учёных стало открытие двух компонентов марсианского грунта, имеющих большое значе-

ние для поиска жизни, — карбоната кальция и перхлоратов.

Обнаружение перхлоратов даёт основания для иной интерпретации результатов «Викингов». Экзобиологи воспроизвели эксперименты «Викингов», используя в качестве рабочего материала похожие на марсианский грунт образцы грунта из чилийской пустыни Атакама и такие же образцы с добавлением небольшого количества перхлоратов. В результате выделился газ, аналогичный тому, который был зарегистрирован «Викингами»: из перхлората высвободился кислород, который соединился с органическими компонентами, и этот процесс сопровождался выделением хлорметана. Отсюда следует, что в грунте с перхлоратом содержание органических веществ могло быть значительным — более одной миллионной — и при этом приборы «Викингов» вполне могли не заметить их. В пользу этого говорит и то, что приборы «Феникса» зафиксировали выделение двуокиси углерода, когда образец грунта был нагрет в печи до температуры выше 300 °С; так и должно быть в случае соединения содержащихся в грунте органических веществ с перхлоратом.

Данные орбитальных и посадочных аппаратов подогревают интерес экзобиологов к Марсу. В самое последнее время появились доказательства, что в наши дни на Марсе существуют источники жидкой воды и время от времени возникают открытые бассейны. Глобальное картографирование нейтронного излучения Марса выявило огромные залежи водяного льда и связанной воды в приповерхностном слое планеты. Это поддерживает идею о периодическом изменении марсианского климата, долговременные вариации которого могут быть связаны с изменением наклона полярной оси планеты. При небольшом повышении температуры планеты её разреженная атмосфера может стать в 100 раз плотнее за счёт испарения льдов полярных шапок и слоя вечной мерзлоты. Поэтому не исключено, что жизнь на Марсе существовала когда-то в прошлом. Необходимы новые полёты на Марс для поиска ископаемых остатков жизни. Не исключено, что, по крайней

мере на Марсе, экзобиология может уступить место экзопалеонтологии.

Астероиды и кометы. Поверхности астероидов напоминают лунную и выглядят совершенно стерильными. Кометы почти наверняка содержат сложные органические молекулы, образовавшиеся ещё в эпоху формирования Солнечной системы. Но трудно вообразить себе жизнь на комете. Впрочем, жизнь отличается удивительной приспособляемостью, а условия на малых телах Солнечной системы могут быть не так уж плохи.

Подведем итог. Современные условия на большинстве объектов Солнечной системы исключают жизнь. Наиболее привлекательными для её поиска считаются Марс, Европа (спутник Юпитера) и Энцелад (спутник Сатурна). Прямые поиски жизни до сих пор проводились лишь на Луне и Марсе, не дав положительных результатов. Однако последние исследования Марса, выявившие не только следы воды, но и её наличие, оставляют некоторую надежду. В отношении Европы и Энцелада также планируются биологические эксперименты. Попытки обнаружить жизнь на других телах с помощью автоматических аппаратов основываются на предположении, что жизнь на них имеет ту же углеводородную основу, что и на Земле. Возможность жизни на другой основе (аммиак, кремний) считается маловероятной.

ПОКАЗАТЕЛЬ ЦВЕТА — характеристика спектра излучения звезды; выражается разностью звёздных величин, измеренных в двух диапазонах спектра. Впервые был введен в начале XX в., когда выяснилось, что относительная яркость звёзд на фотопластинках отличается от наблюдаемой визуально (поскольку наш глаз наиболее чувствителен к жёлтым лучам, а фотопластинка — к синим). Более холодные — жёлтые и красные — звёзды выглядят ярче для глаза, а более горячие — белые и голубые — ярче получают на фотопластинке. Следовательно, цвет звезды указывает её температуру.

Вначале показатель цвета (Color Index) определили как разность между фотографической и визуальной звёздными величинами объекта: $CI = m_{ph} - m_{vis}$. Введение трёхцветной фотометрической системы UVB по-

зволило использовать два независимых показателя цвета: $(B - V)$ и $(U - B)$. Поскольку фильтр V (visual) близок к диапазону чувствительности глаза, а фильтр B (blue) — к диапазону фотопластинки, значения показателей CI и $(B - V)$ почти совпадают. Шкала звёздных величин установлена так, что $(B - V) = 0$ и $(U - B) = 0$ для звёзд спектрального класса A_0 с температурой поверхности около 10 000 К. Красные звёзды с низкой температурой поверхности имеют показатель цвета от $+1,0^m$ до $+2,0^m$, а у горячих бело-голубых звёзд он отрицательный до $-0,3^m$. Продвижение в инфракрасный диапазон спектра привело к введению новых стандартных фильтров ($I, J, K, \dots$) и соответствующих им показателей цвета.

Для звёзд, спектр которых не искажён межзвёздным поглощением света, используется понятие «нормальный цвет» (или «нормальный показатель цвета»). Поскольку он, как и спектральный класс звезды, почти однозначно связан с её температурой, по виду спектра можно определить нормальный цвет звезды, даже если её наблюдаемый цвет искажён межзвёздным поглощением. Разность наблюдаемого и нормального цветов называют «избытком цвета» (Color Excess), например $E_{B-V} = (B - V) - (B - V)_0$. Его значение как раз и указывает на степень межзвёздного поглощения света звезды и позволяет учесть его. В каждом спектральном диапазоне полное поглощение (A) обычно считают пропорциональным избытку цвета. Например, в фильтре V с успехом можно принимать $A_V = 3,0 E_{B-V}$.

ПОКРАСНЕНИЕ — изменение цвета оптического излучения космического объекта в сторону относительного усиления красного оттенка. Космологическое покраснение вызвано расширением Вселенной и связано с этим эффектом Доплера. Межзвёздное покраснение вызвано относительно более сильным поглощением и рассеянием голубых лучей при их прохождении сквозь межзвёздную среду (см. *Межзвёздное поглощение света и Межзвёздное покраснение*).

ПОКРЫТИЕ — прохождение одного небесного объекта на фоне другого, когда более близкий к наблюдателю объект имеет существенно больший угловой размер, не-

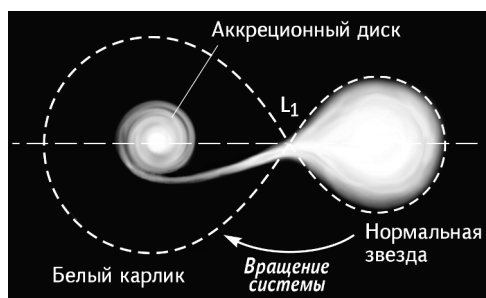
жели более далёкий, покрываемый, объект. Обычно покрытиями называют затмения звёзд дисками Луны, планет и астероидов. Представляют интерес и покрытия Луной самих астероидов и планет. Фиксируя моменты покрытий, уточняют теорию движения Луны. Покрытия Луной важны для изучения тонкой структуры космических источников излучения, особенно в тех диапазонах, где аппаратура имеет низкое угловое разрешение: в 1950–1960-е гг. это был радиодиапазон, в 1970–1980-е — рентгеновский и гамма-диапазоны. Регулярно проводятся оптические наблюдения покрытия звёзд Луной для выявления тесных двойных звёзд и исследования структуры поверхности звёзд-гигантов.

Наблюдая, как изменяется поток излучения от источника в момент его покрытия краем Луны, можно с высоким угловым разрешением измерить одномерное распределение поверхностной яркости источника в направлении, перпендикулярном краю лунного диска. Поскольку следующие покрытия этого источника происходят при несколько изменившихся условиях движения Луны, меняется и «направление сканирования», что позволяет по наблюдениям нескольких покрытий восстановить полную двумерную картину распределения яркости источника, т. е. его изображение.

ПОЛНОЛУНИЕ — фаза Луны, при которой она находится в противостоянии с Солнцем, и её диск с точки зрения земного наблюдателя полностью освещён. В эпоху полнолуния яркость лунного диска значительно усиливается, а период пребывания Луны над горизонтом составляет практически всю ночь. Поэтому в полнолунии Луна становится полноценным ночным светилом, что существенно облегчало жизнь древних народов, особенно в южных странах, где полуденная жара мешает работе и путешествиям.

ПОЛОСТЬ РОША — часть пространства, которую своим притяжением контролирует одного из тел в двойной системе с круговой орбитой, например, в системе планета-спутник или в системе двойной звезды. Вокруг второго тела существует своя полость Роша. Обе они имеют форму, близкую к э-

липсоиду, немного вытянутого в направлении соседа. Точка контакта полостей Роша обоих тел называется внутренней точкой Лагранжа (обозначается как L_1 , иногда как L_2). Внутри каждой из полостей Роша движение лёгкой свободной частицы оказывается ограниченным: частица не может покинуть окрестности массивного тела (но может упасть на его поверхность). Если энергия лёгкой частицы увеличивается и она способна достичь поверхности полости Роша, то через точку L_1 частица может перейти в соседнюю полость Роша и быть «присвоена» вторым массивным телом. Частица, попавшая за пределы области Роша любого из двух тел, становится общим спутником системы. Если звезда в тесной двойной системе расширится настолько, что заполнит свою полость Роша, то вещество с её поверхности начнёт перетекать на вторую звезду и вытекать в околозвёздное пространство.



Полости Роша компонентов двойной звезды

ПОЛУДЕННАЯ ЛИНИЯ — проекция небесного меридиана на плоскость математического горизонта. Проходит через точки севера и юга. В истинный полдень тень от предметов падает вдоль полуденной линии.

ПОЛУПРАВИЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ — пульсирующие сверхгиганты или гиганты средних и поздних спектральных классов. Такие звёзды меняют свой блеск более или менее предсказуемым образом. Периоды изменения блеска у этих звёзд составляют от 20 до более чем 2000 суток, амплитуды — от 1^m до 2^m . Различают четыре типа полуправильных переменных, в обозначении которых всегда присутствует сочетание SR от semi-regular (полуправильный). Звёзды типа SRa, их называют ещё звёздами типа Z Водолея (Z Aqr), имеют периоды более 35 суток, а амплитуды

изменения их блеска менее $2,5^m$. У них почти регулярная переменность, что делает их похожими на мириды, но с меньшей амплитудой. Звёзды типа SRb, типичным представителем которых является звезда Z Большой Медведицы (Z UMa), имеют периоды больше 20 суток и амплитуды менее $2,5^m$. Но в отличие от звёзд типа SRa, их периодические колебания блеска иногда прерываются медленными неправильными изменениями или же эпохой постоянного блеска. Звёзды типа SRc, самым известным представителем которых является Бетельгейзе, относятся к сверхгигантам и характеризуются малой амплитудой и нерегулярными интервалами постоянного блеска. Все звёзды этих типов, от SRa до SRc, относятся к спектральным классам M, C или S, иногда с эмиссионными линиями в спектре. Звёзды группы SRd могут быть жёлтыми гигантами и сверхгигантами (спектральные классы от F до K), которые горячее других полуправильных переменных. Изменения их блеска происходят с амплитудой от $0,1^m$ до 4^m , и они подвержены случайным изменениям блеска.

ПОЛУТЕНЬ — при описании солнечных затмений так называют область частичной тени, окружающую конус полной тени, протянувшийся от Луны к земной поверхности. На Земле из области полутени видна часть Солнца (частное затмение), в то время как из области тени фотосфера Солнца не видно вовсе (полное затмение). При описании поверхности Солнца полутенью называют более светлую кайму, окружающую центральную тёмную часть солнечного пятна.

ПОЛЮСЫ ГАЛАКТИКИ — полюсы системы галактических координат, основной большой круг которой — галактический экватор. Северный полюс Галактики лежит в созвездии Волосы Вероники, южный — в созвездии Скульптор.

ПОЛЮСЫ МИРА — точки на небесной сфере, вокруг которых происходит её кажущееся суточное вращение. На небе этих точек две — северный полюс мира и южный полюс мира. Эти полюсы лежат в точках пересечения оси вращения Земли с небесной сферой. В нашу эпоху положение северного полюса мира отмечено Полярной звездой (α Малой Медведицы, α UMa), находящейся на рассто-

янии менее углового градуса от истинного полюса. Вблизи южного полюса мира нет ни одной яркой звезды, подобной Полярной. В популярной литературе нередко полюс мира называют «небесным полюсом», прямо переводя англ. *celestial pole*. Это неверно.

Положение полюсов мира в системе координат, связанной с далёкими звёздами, медленно изменяется из-за прецессии и нутации оси вращения Земли.

ПОЛЮСЫ — диаметрально противоположные точки сферы; обычно те две точки, в которых ось вращения сферы пересекает её поверхность. Ось вращения Земли пересекает земную поверхность в точках северного и южного географических полюсов. Ось мира (параллельная земной оси) пересекает небесную сферу в точках северного и южного полюсов мира. Северным полюсом считают тот, вокруг которого видимое вращение звёзд происходит против часовой стрелки.

ПОЛЯРНАЯ (звезда) — α Малой Медведицы (α UMi), звезда 2,0 визуальной звёздной величины, удалённая от Солнца на 470 св. лет. В нашу эпоху эта звезда расположена на расстоянии около 1° от северного полюса мира и поэтому удобна для ориентирования: она всегда указывает приблизительное направление на север. К тому же по ней легко определить широту места, приблизительно равную высоте Полярной звезды над горизонтом.

Положение Полярной звезды относительно северного полюса мира со временем меняется из-за прецессии (см. *Прецессия*), т. е. медленного поворота земной оси. В 1900 г. она отстояла от полюса мира на $1^\circ 14'$, а в 2000 г. — на $44'$. В 2102 г. Полярная приблизится к полюсу на минимальное расстояние $27' 31''$ и затем будет удаляться от него. В прошлом роль полярной звезды как указателя полюса мира принадлежала (и впоследствии будет принадлежать) иным светилам: например, 14 тыс. лет назад это была Вега.

Долгие годы Полярная звезда проявляла себя как классическая цефеида, меняя свой блеск на $0,3^m$ с периодом около 4 сут. Но в 1990-е гг. колебания её блеска неожиданно прекратились.

ПОЛЯРНАЯ НОЧЬ — период, когда Солнце

зимой на высоких географических широтах не поднимается над горизонтом, и поэтому прямое солнечное освещение отсутствует. Полярная ночь наблюдается на широтах более $65,7^\circ$. На северной широте 68° она продолжается 25 сут, на Северном полюсе 175 сут. Аналогичное явление наблюдается в Южном полушарии, но в другое полугодие. На южной широте 68° полярная ночь продолжается 28 сут, а на Южном полюсе 182 сут.

ПОЛЯРНАЯ ОСЬ ТЕЛЕСКОПА — ось вращения в экваториальной монтировке телескопа, направленная на полюс мира, т. е. параллельная оси вращения Земли. Чтобы быть постоянно направленным на одну область неба, телескоп равномерно вращается часовым механизмом вокруг полярной оси вслед за звёздами, совершая 1 оборот за 1 звёздные сутки, поэтому полярную ось телескопа часто называют часовой осью.

ПОЛЯРНОЕ СИЯНИЕ — оптическое явление в атмосфере Земли, регулярно наблюдаемое ночью преимущественно на высоких географических широтах. Проявляется как красноватое или зеленоватое свечение самых разнообразных форм, — в виде дуг, полос, лучей и т. п., — весьма подвижное и порою быстро изменяющееся. Происходит в результате свечения разреженных слоёв воздуха на высотах 90–1000 км под воздействием высокоэнергичных частиц, проникающих в атмосферу из космоса.

Источником полярного сияния служит излучение атомов азота и кислорода, возбуждаемых потоком заряженных частиц (электронов и протонов) высокой энергии, испускаемых Солнцем. Потоки частиц рождаются во время солнечных вспышек и корональных выбросов, поэтому в годы активного Солнца вероятность появления полярных сияний возрастает. Широты, где обычно наблюдаются полярные сияния, заключены в границах двух овальных зон диаметром около 40° , центрированных на северный и южный магнитные полюсы Земли. Их соответственно называют северным и южным полярным сиянием. Во время активных процессов на Солнце полярные сияния можно иногда наблюдать и на более низких широтах, порой на широте Москвы и даже Кры-

ма. В исключительных случаях, как это было во время геомагнитной бури 1–2 сентября 1859 г., полярные сияния наблюдаются по всему миру вплоть до экватора.

ПОЛЯРНЫЕ КРУГИ (Северный и Южный) — параллели в Северном и Южном полушариях с широтами $66^\circ 34'$. В Северном полушарии в день зимнего солнцестояния (21–22 декабря) к северу от полярных кругов Солнце не восходит (без учёта атмосферной рефракции и углового размера солнечного диска), а в день летнего солнцестояния (21–22 июня) не заходит. Аналогичные явления наблюдаются в Южном полушарии со смещением на полгода.

ПОЛЯРНЫЙ ДЕНЬ — период, когда Солнце на высоких широтах многие сутки не опускается за горизонт. Полярный день на 68° с. ш. длится 53 сут, на Северном полюсе 191 сут. Аналогичное явление наблюдается в Южном полушарии, но в другое полугодие. Там на широте 68° ю. ш. полярный день длится 50 сут, а на Южном полюсе 183 сут.

ПОНИЖЕНИЕ ГОРИЗОНТА — превышение угла в 90° между направлением на зенит и видимым горизонтом наблюдателя, находящегося на ровной местности на высоте h . С учетом влияния рефракции понижение горизонта δ приблизительно выражается как $d = 0,0297^\circ \sqrt{h} = 1,779' \sqrt{h}$, где h — высота наблюдателя над уровнем моря в метрах. Дальность горизонта в километрах (также с учетом рефракции) можно вычислить по формуле $D = 3,86 \sqrt{h}$.

ПОПЯТНОЕ ДВИЖЕНИЕ, или **обратное движение**, — видимое перемещение планет на фоне звёзд с востока на запад, т. е. в направлении, обратном перемещению Луны и Солнца. Кинематические причины попятного движения у внутренних и внешних (по отношению к орбите Земли) планет разные. Движение внутренних планет — Меркурия и Венеры — меняется с прямого на попятное и обратно в силу того, что земной наблюдатель находится вне их орбиты; при этом движение самого наблюдателя не имеет решающего значения. Напротив, попятное движение внешних планет наблюдается лишь по причине перемещения самой Земли, опережающей внешнюю планету в эпоху её противостояния. С точки зрения зем-

ного наблюдателя, внешняя планета большую часть времени перемещаются с запада на восток, но незадолго до противостояния останавливается и начинает двигаться с востока на запад, достигая максимальной скорости в момент противостояния. Через некоторое время её попятное движение прекращается и после стояния сменяется прямым. Существование попятного движения прямо связано с законом тяготения Ньютона, из которого следует, что с удалением от Солнца уменьшается скорость движения планет по круговым орбитам.

ПОСЛЕСВЕЧЕНИЕ — длительное ослабевающее свечение, наблюдающееся после яркой вспышки. Например, после кратковременного мощного гамма-всплеска обычно наблюдается значительно более продолжительное послесвечение в рентгеновском и оптическом диапазонах.

ПОСТОЯННАЯ ХАББЛА, или «параметр Хаббла» — см. *Закон Хаббла*.

ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЕ ОБЪЕКТЫ — тела Солнечной системы, чьи орбиты в настоящую эпоху сближаются с орбитой Земли до минимального расстояния, не превышающего 0,05 а. е. (7,5 млн км). Основанием для того, чтобы считать потенциально опасными тела на орбитах, проходящих от Земли на расстояниях до 20 радиусов лунной орбиты, является то обстоятельство, что в таких пределах можно ожидать изменения расстояний между орбитами в обозримом будущем (на протяжении столетия) под влиянием планетных возмущений, а также в связи с ошибками определения элементов орбит.

ПОЯС АСТЕРОИДОВ, или **Главный пояс астероидов** — область Солнечной системы шириной около 0,5 а. е. между орбитами Марса и Юпитера, где обнаружено большинство астероидов.

ПОЯС КОЙПЕРА, или **пояс Эджворта—Койпера**, — область Солнечной системы за орбитой Нептуна, на расстоянии от 30 до 50 а. е. от Солнца, населённая планетами-карликами (Плутон, Эрида и др.), а также небольшими объектами типа астероидов и ядер комет. Первый объект пояса Койпера обнаружили в 1992 г., а к 2020 г. были открыты уже тысячи транснептуновых обь-

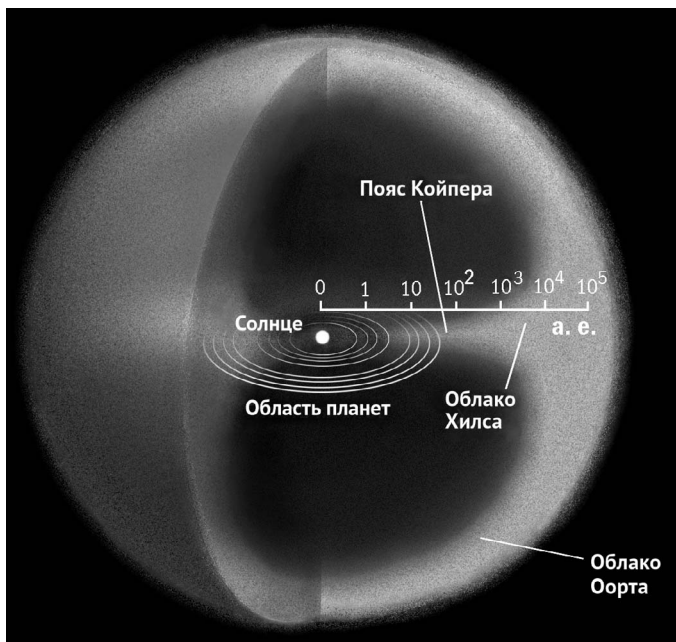
ектов. Диаметры большинства из них превышают 100 км, в некоторых случаях достигают 1000 км, а рекордсмены (Плутон и Эрида) имеют диаметры около 2300 км. Некоторые крупные объекты пояса Койпера имеют спутники. Оценки показывают, что всего в этой области должно быть около 100 тыс. объектов диаметром более 100 км.

Существование этого скопления занептунианских тел подозревали давно. Ирландский инженер Кеннет Эджворт (К. Е. Edgeworth, 1880–1972) в 1943 и 1949 гг., а также американский астроном Джерард Койпер (G. P. Kuiper) в 1951 г. высказали предположение, что за орбитами планет-гигантов, на расстоянии 35–50 а. е. от Солнца, существует область, поставляющая во внутреннюю часть Солнечной системы короткопериодические кометы. Долгое время там не удавалось найти ни одного объекта, кроме Плутона (1930) и его спутника Харона (1978). Правда, систематические поиски далёких объектов привели в 1977 г. к открытию нового класса малых тел между орбитами Юпитера и Нептуна (см. *Кентавры*).

В конце 1992 г. Дейвид Джюит (D. Jewitt) и Джейн Луу (J. Luu) из Гавайского университета в Гонолулу обнаружили первый «транснептунианский объект» (TNO — Transneptunian Objects) диаметром около 280 км, получивший обозначение 1992 QB1. К 2020 г. их обнаружены уже многие тысячи.

По параметрам орбит их разделили на два класса. Более половины отнесли к классическим объектам пояса Койпера (KBO — Kuiper Belt Object), которые в своем орбитальном движении не входят в резонанс с Нептуном. Некоторые астрономы называют их объектами Эджворта—Койпера (ЕКО). Предлагается для них и название «кьюбивано» (cubewano), происходящее от обозначения первого объекта этой группы (15760) 1992 QB1. Почти круговые орбиты этих тел лежат в области 40–50 а. е. от Солнца, а плоскости орбит наклонены к эклиптике менее чем на 40°. Около 1/3 планеток объединили в класс «плутино» (Plu — plutino, т. е. «плутончики»). Большие полуоси их орбит близки к 39,5 а. е., а значит, их орбитальный период (248 лет, как у Плутона) связан с орбитальным периодом Нептуна как 3:2. Воз-

Строение Солнечной системы в логарифмическом масштабе. Кометы в облаке Оорта слабо связаны с Солнцем и подвержены гравитационному влиянию окружающих звезд и других массивных объектов. Поэтому они часто покидают Солнечную систему, но эти потери компенсируются кометами из значительно более населенного облака Хилса, иначе называемого поясом Хилса или внутренним облаком Оорта.



можно, именно эта резонансная связь с планетой-гигантом служит стабилизирующим фактором движения плутино: некоторые из них пересекают орбиту Нептуна, но никогда не сближаются с ним, как и сам Плутон. В эту группу наряду с Плутоном входят 90482 Orcus, 28 978 Ixion, 38 083 Rhadamanthus, 38 628 Nuya и др. Несколько объектов не вписались в эту классификацию. Движение некоторых из них также имеет резонансный характер по отношению к Нептуну, но с отношением периодов 4:3, 5:3 или 5:4. Прочие объекты не попадают ни в один из классов.

Внешней границей пояса Койпера служит расстояние (около 50 а. е.), на котором существует орбитальный резонанс 2:1 с Нептуном. За этой границей число объектов резко уменьшается. Первым в этой области, названной «рассеянным диском» (scattered disc), был обнаружен объект 1996 TL66, имеющий весьма вытянутую ($e = 0,58$) орбиту с большой полуосью 84 а. е. и удаляющийся от Солнца в афелии втрое дальше Плутона. Он стал родоначальником особого класса объектов рассеянного диска (scattered disc object, SDO). Объекты за Нептуном пока трудно отнести к какому-либо классу малых тел Солнечной системы — к каменным асте-

роидам или к ледяным ядрам комет. Новооткрытые тела в большинстве своем имеют диаметры от 100 до 1000 км и очень темную красноватую поверхность, что указывает на её древний состав и возможное присутствие органических соединений. Судя по оценкам, это скопление малых тел в сотни раз массивнее Главного пояса астероидов, расположенного между орбитами Юпитера и Марса, но уступает по массе гигантскому кометному Облаку Оорта, простирающемуся на тысячи астрономических единиц от Солнца. Возможно, пояс Койпера представляет собой остаток протопланетной туманности, из которой сформировалась Солнечная система.

После 1995 г. стали высказываться предложения, что Плутон было бы правильнее называть не «самой маленькой планетой», а «крупнейшим членом пояса Койпера». Действительно, Плутон диаметром 2377 км и его спутник Харон диаметром 1212 км некоторое время лидировали в поясе Койпера по размеру и массе. Но затем там были найдены подобные им объекты, например, Хаос, Варуна, Иксион, Кварвар, Седна, диаметры которых оцениваются в 900–1800 км. Наконец, был обнаружен второй крупный объект — Эрида — диаметром около 2326 км,

близкий по размеру к Плутону. Некоторые крупные объекты пояса Койпера даже имеют свои спутники, так что это полноправные, хотя и небольшие, планеты. В то же время, Плутон теперь уже нельзя считать даже крупнейшим в поясе Койпера. Поэтому на 26-й Генеральной ассамблее МАС (Прага, август 2006 г.) Плутон был лишён звания планеты и стал прототипом нового класса планет-карликов, к числу которых отнесены и крупнейшие объекты пояса Койпера. Помимо этого Плутон занесен в список именованных малых планет под именем 134340 Pluto и отнесен к классу транснептуновых объектов, к подклассу плутино.

ПОЯС ОРИОНА — три яркие белые звезды — Альнитак (ζ Ori), Альнилам (ϵ Ori) и Минтака (δ Ori), — расположенные вдоль прямой линии на равном расстоянии друг от друга в центральной части созвездия Орион. Названия Альнитак и Минтака связаны с арабским словом, означающим «пояс», а Альнилам на арабском означает «нитка жемчуга».

Близость друг к другу этих звёзд иллюзорна. На самом деле, звёзды на концах пояса (Альнитак и Минтака) действительно близки. Альнитак удалена от нас примерно на 800 св. лет, а Минтака на 100 св. лет дальше. Центральная звезда Альнилам расположена намного дальше их, на краю молекулярного облака Ориона, на расстоянии более 1300 св. лет от Солнца. Эта звезда ещё и самая массивная и яркая из трёх. Как и во всём созвездии, в поясе Ориона много туманностей. Особенно много их в направлении Альнитак. Здесь расположена знаменитая тёмная туманность «Конская Голова».

ПОЯС ЭДЖВОРТА—КОЙПЕРА — см. *Пояс Койпера*.

ПРАВИЛО ТИЦИУСА—БОДЕ, или закон Боде — эмпирическое правило для приближительного определения расстояний планет Солнечной системы от Солнца. Намёк на существование строгой закономерности в расстояниях планет от Солнца содержался в работе Иоганна Кеплера (1571–1630) «Космографическая тайна» (1596 г.). В явном виде это правило впервые сформулировал в 1766 г. немецкий математик Иоганн Даниель Тициус фон Виттенберг (1729–1797) в опубликованном им переводе книги известного

естествоиспытателя Шарля Боне «Созерцание природы». Но Тициус не ограничился переводом текста, а сделал к нему небольшое примечание, причём в очень необычной и скромной форме: он попросту внёс своё добавление в основной текст. Смысл этого примечания состоял в следующем: расстояния планет от Солнца подчиняются простому эмпирическому правилу, а точнее говоря — простой числовой последовательности.

Правило Тициуса для планетных расстояний гласит, что последовательность расстояний планет от Солнца, выраженных в астрономических единицах (1 а. е. — это среднее расстояние Земли от Солнца, около 150 млн км), можно получить, прибавляя к числу 0,4 члены прогрессии 0, 0,3; 0,6; 1,2; 2,4; 4,8; 9,6 (в которой каждый член после второго получается удвоением предыдущего). Первые четыре и последние два таких числа, как видно из таблицы, действительно близки к расстояниям от Солнца шести известных в ту эпоху планет:

Расстояние	Меркурий	Венера	Земля	Марс		Юпитер	Сатурн
Тициус	0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0
Истинное	0,39	0,72	1,0	1,52	—	5,2	9,5

Рассматривая эту таблицу, следует согласиться, что простая формула Тициуса очень хорошо описывает размеры орбит известных в те годы планет. Но этот замечательный факт вызвал интерес лишь у нескольких специалистов. Правило Тициуса не привлекало общественного внимания до тех пор, пока не было опубликовано известным немецким астрономом Иоганном Элертом Боде (1747–1826). В 1772 г. он опубликовал своё «Руководство по изучению звёздного неба» и включил туда правило Тициуса, пересказав его почти дословно, но не сославшись на первоисточник. В наши дни такой поступок сочли бы недостойным, но в те годы правила научной этики ещё только выработывались. К чести Иоганна Боде следует заметить, что в последующих изданиях своей книги он отмечал приоритет Тициуса. Числовая прогрессия планетных орбит глупо поразила Боде, и он постарался передать свое восхищение читателям «Руководства». Особенно странным казался ему раз-

рыв между Марсом и Юпитером: «Можно ли поверить, что творец Вселенной оставил это место пустым? Конечно, нет!» — писал Боде.

Когда в 1781 г. был открыт Уран на расстоянии 19,2 а. е. от Солнца и это всего на 0,4 а. е. не совпало с предсказанием правила Тициуса — Боде (19,6 а. е.), начались поиски «пропущенной планеты» на расстоянии 2,8 а. е. В 1801 г. на расстоянии 2,76 а. е. была обнаружена планета Церера. (Позже её считали прототипом астероидов, а с 2006 г. зачислили в группу карликовых планет.) Казалось, правило Тициуса — Боде подтверждено. Однако открытие в 1846 г. Нептуна и в 1930 г. Плутона, расстояния которых в 30,1 а. е. и 39,6 а. е. существенно отличаются от предсказанных этим правилом (38,8 и 77,2), сделало это правило сомнительным.

В наши дни правило Тициуса — Боде обычно формулируется в более изящном виде. Если принять расстояние Земли от Солнца за 10 условных единиц, то расстояния остальных планет составят $R_n = 4 + 3 \times 2^n$, где $n = -\infty$ для Меркурия и $n = 0, 1, 2, \dots$ для последующих планет. Учитывая, что Плутон после 2006 г. выведен из числа больших планет, следует признать, что лишь расстояние Нептуна существенно не соответствует этой простой формуле.

Планета	n	Расстояние, а. е.	
		Правило Т. — Б.	Истинное
Меркурий	$-\infty$	0,4	0,39
Венера	0	0,7	0,72
Земля	1	1,0	1,0
Марс	2	1,6	1,52
астероиды	3	2,8	2,1–3,5
Юпитер	4	5,2	5,2
Сатурн	5	10,0	9,6
Уран	6	19,6	19,2
Нептун	7	38,8	30,0
Плутон	8	77,2	39,2

Хотя неоднократно предпринимались попытки дать правилу Тициуса — Боде физическое толкование, они оказались безуспешными. Сейчас астрономы считают, что «правило Тициуса — Боде» является простым совпадением, а не реальным законом, описывающим планетную систему.

ПРЕДЕЛ КУМАРА — нижняя граница массы звёзд, равная 0,07–0,08 $M_\odot$. При меньшей

массе тела температура в его центре так низка, что термоядерные реакции с участием лёгкого изотопа водорода (т. е. реакции pp-цикла) практически не происходят. Поэтому предел Кумара часто называют «границей возгорания водорода» (см. *Коричневые карлики*).

ПРЕДЕЛ ООРТА — верхний предел средней плотности Галактики в окрестности Солнца, вытекающий из частоты колебания звёзд поперек галактической плоскости; составляет $0,18 M_\odot \text{ пк}^{-3} = 1,2 \cdot 10^{-23} \text{ г/см}^3 = 7,3 \text{ Н/см}^3$, т. е. 7,3 атома водорода в кубическом сантиметре (см. *Оорт*).

ПРЕДЕЛ СТАТИЧНОСТИ — поверхность, окружающая вращающуюся чёрную дыру, внутри которой невозможно оставаться в состоянии покоя.

ПРЕДЕЛ ЧАНДРАСЕКАРА — верхний предел массы белого карлика (M_{Ch}), равный примерно $1,4 M_\odot$. При большей массе происходит коллапс белого карлика. А поскольку ядро проэволюционировавшей звезды практически представляет собой белый карлик, то и для него это значение является верхним пределом массы. Физически это связано с тем, что при больших плотностях возникает вырождение газа электронов. В вырожденном газе из-за большой плотности число квантовых состояний с малой энергией ограничено в силу принципа Паули, поэтому электроны заполняют квантовые уровни с высокой энергией, значительно превышающей энергию их теплового движения. При этом независимо от температуры возрастает давление (p). Важнейшая особенность вырожденного газа состоит в том, что его давление зависит лишь от плотности: $p \sim \rho^{5/3}$ для нерелятивистского вырождения и $p \sim \rho^{4/3}$ для релятивистского вырождения (наступающего при более высокой плотности, когда скорость электронов приближается к скорости света). Давление газа электронов намного превосходит давление ионов. Отсюда следует принципиальный для эволюции звёзд вывод: поскольку сила тяготения, действующая на единичный объём релятивистски вырожденного газа, $F \sim M\rho/R_2 \sim M^{1/3}\rho^{5/3}$, зависит от плотности так же, как и градиент давления $p/R \sim \rho^{4/3}/R \sim M^{-1/3}\rho^{5/3}$, должна существовать предельная

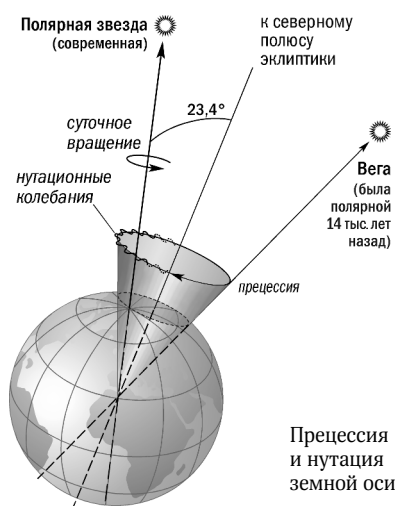
масса M_{Ch} , такая, что при $M > M_{\text{Ch}}$ давление электронов не может противодействовать тяготению и начинается сжатие. Предельная масса немного зависит от химического состава вещества белого карлика и лежит в интервале $M_{\text{Ch}} = (1,38-1,44) M_{\odot}$.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ЗВЁЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА — звёздная величина наиболее слабых звёзд, которые ещё можно видеть или зарегистрировать с помощью данного телескопа, а также блеск слабейших объектов, внесенных в звёздный каталог или нанесенных на звёздную карту. Для случая визуальных наблюдений с телескопом, установленном в месте с низким уровнем засветки неба, предельная величина приблизительно такова: $m_{\text{пред}} = 6 + 5 \lg D$, где D — диаметр объектива телескопа в сантиметрах. Например, телескоп диаметром 20 см (8 дюймов) при визуальных наблюдениях имеет предельную звёздную величину около 12,5^m.

ПРЕЦЕССИЯ (лат. *praecessio* — движение впереди) — коническое движение земной оси вокруг полюса эклиптики с периодом около 25 800 лет и раскрытом конуса около 23,5°, вызванное гравитационным влиянием главным образом Луны и Солнца на экваториальное вздутие Земли. Вследствие прецессии небесный экватор поворачивается с тем же периодом в направлении суточного движения светил, а точки его пересечения с эклиптикой (точки равноденствия) перемещаются навстречу видимому годовому движению Солнца по эклиптике со скоростью около 50" в год, делая более ранними (т. е. предварают) моменты равноденствий.

Предварение равноденствий делает тропический год почти на 20 минут короче сидерического (звёздного) года. К тому же медленное изменение ориентации небесного экватора и перемещение точки весеннего равноденствия вызывает изменение экваториальных координат всех небесных светил. Именно поэтому в астрономических каталогах и атласах указывается эпоха, для которой приведены координаты звёзд.

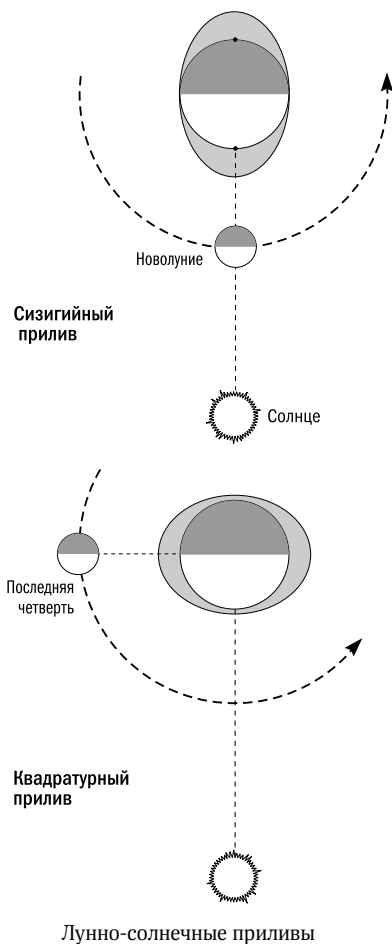
Описанный выше эффект иногда называют лунно-солнечной прецессией, желая отличить его от другого эффекта, также влияющего на положение точки весеннего равноденствия. Речь идёт об изменении ориен-



тации плоскости земной орбиты (эклиптики) под влиянием притяжения планет. Этот эффект называют планетной прецессией; она уменьшает прямое восхождение всех звёзд примерно на 0,13" в год. Суммарное действие лунно-солнечной прецессии и планетной прецессии называют общей прецессией. Она изменяет положение эклиптики, экватора и точки весеннего равноденствия. Общая прецессия по долготе за юлианское столетие (для эпохи J2000,0) составляет $p = 5029,0966'' = 1,3969713^\circ$.

ПРИЁМНИК — см. Детектор.

ПРИЛИВЫ И ОТЛИВЫ — квазипериодические горизонтальные смещения и вертикальные колебания воды в океанах и морях, возникающие в результате гравитационного влияния Луны и Солнца на Землю и изменения их относительного положения, в первую очередь вызванного вращением Земли (полусуточные колебания), а также орбитальным движением Луны (полумесечные изменения). Приливный эффект вызван неоднородностью гравитационного поля, напряжённость которого (ускорение свободного падения) изменяется с изменением расстояния от массивного тела. В периоды сизигий (новолуние и полнолуние) приливное влияние Луны и Солнца складывается и приливы обычно достигают максимальной величины. В периоды лунных квадратур (первая и последняя четверти Луны) приливное влияние Луны ослаблено прилив-



ным влиянием Солнца, и амплитуда приливов уменьшается приблизительно вдвое.

Приливные эффекты наблюдаются также в твёрдом теле и атмосфере Земли, но именно в океанах они наиболее заметны по причине высокой подвижности воды и возможности её «набегания» на материковый берег (приливная волна). Приливно-отливные колебания уровня моря и приливные течения делают предсказание приливов важным для прибрежной навигации.

ПРИНЦИП ЗАПРЕТА ПАУЛИ — физический закон, согласно которому две одинаковые частицы (скажем, электроны или нейтроны) с одними и теми же значениями спина и скорости не могут одновременно находиться в одном и том же месте.

ПРИНЦИП ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ — предположение о том, что в малых областях про-

странства-времени тяготение невозможно отличить от ускорения. Этот принцип использовал Альберт Эйнштейн при выводе общей теории относительности. Для иллюстрации этого принципа Эйнштейн рассмотрел следующий мысленный эксперимент. Пусть тела находятся в лифте, который бесконечно удалён от гравитирующих тел и движется с ускорением a . Тогда на все тела, находящиеся в лифте, действует сила инерции $F = -ma$, а тела под действием этих сил будут давить на опору или натягивать подвес, то есть тела будут обладать весом.

Если лифт не движется, а висит над какой-то гравитирующей массой в однородном поле, то все тела также будут обладать весом. Находясь в лифте, невозможно различить эти две силы. Поэтому все механические явления будут в обоих лифтах происходить одинаково. Эйнштейн обобщил это положение на все физические явления.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ — одна из фундаментальных задач астрофизики. Теория происхождения химических элементов (теория нуклеосинтеза) занята построением эволюционной картины формирования всего наблюдаемого в природе многообразия химических элементов. Ключом к пониманию процесса ядерной эволюции вещества от первоначальной горячей плазмы элементарных частиц до современного состояния служит относительная распространённость элементов и их изотопов в веществе наблюдаемой части Вселенной. Представляется наиболее вероятным, что изотопы всех элементов со значением массового числа $A \geq 12$ образуются в звёздах. Гелий, вероятно, уже содержался в протозвёздном веществе, из которого формировались первые звёзды галактик, и за его образование ответственны реакции термоядерного синтеза на ранних стадиях расширения горячей Вселенной. Вполне удовлетворительное согласие наблюдаемой распространённости гелия со значением, предсказываемым в рамках модели горячей Вселенной, служит веским аргументом в пользу такого предположения. Этот же механизм, скорее всего, ответствен и за образование наблюдаемых количеств изотопов ^2H , ^3He , а также некоторой доли ^7Li .

Скорость образования элементов в Галактике была в прошлом существенно выше, чем на момент формирования Солнечной системы (4,6 млрд лет назад), и основное обогащение вещества Галактики элементами с $A > 4$ произошло 10–13 млрд лет назад. Это заставляет предполагать, что среди первых поколений звёзд преобладали массивные звёзды, быстро заканчивавшие свою эволюцию выбросом большой доли переработанного в ядерных реакциях и обогащённого тяжёлыми элементами вещества в межзвёздное пространство, где оно вошло в состав следующих поколений звёзд.

Проблема образования легких элементов — Li, Be и B — решена пока не полностью. Эти элементы легко разрушаются в термоядерных реакциях, поэтому их эффективное производство возможно только в неравновесных процессах. Считается, что они образуются главным образом при взаимодействии частиц галактических космических лучей с веществом межзвёздного газа в реакциях скалывания. Однако возникающие трудности в объяснении необычного изотопного состава Li и B (сильное преобладание нечётных изотопов) указывают, скорее всего, на наличие дополнительного эффективного источника их образования. Наиболее вероятный кандидат на эту роль — взрывы сверхновых, так как прохождение через сбрасываемую оболочку мощного потока нейтринного излучения от коллапсирующего ядра звезды, а также сильной ударной волны приводит к образованию заметных количеств именно нечётных изотопов легких элементов в веществе оболочки.

Большинство изотопов химических элементов, начиная с углерода и вплоть до элементов района «железного пика» (Fe, Ni и др.), образуются в условиях высоких температур в реакциях термоядерного синтеза, причём начальным этапом этой последовательности ядерных превращений служат процессы ${}^4\text{He} + {}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$ и ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$, приводящие к эффективному увеличению количества ${}^{12}\text{C}$ и ${}^{16}\text{O}$ на гидростатически равновесных стадиях эволюции звёзд. Наиболее благоприятные условия для образования Ne и всех более тяжёлых элементов этой группы реализуются,

по-видимому, при взрывном горении C, O и Si на заключительном, неравновесном этапе эволюции массивных звёзд.

Наиболее распространённые изотопы элементов тяжелее железа сформировались, очевидно, в недрах массивных звёзд в результате последовательных реакций захвата нейтронов. Ряд характерных особенностей хода кривой распространённости этих тяжёлых ядер указывает на то, что процесс их построения должен протекать достаточно эффективно как на сравнительно продолжительной равновесной стадии эволюции звёзд в условиях малых интенсивностей потока нейтронов (s-процесс), так и в момент взрыва звезды при высокой интенсивности потока нейтронов (r-процесс).

Образование редких (с относительно низким содержанием нейтронов) изотопов тяжёлых элементов, которые не могли сформироваться в процессе последовательного присоединения нейтронов (откуда и термин «обойдённые ядра»), возможно только на последней, катастрофической стадии эволюции массивных звёзд либо под действием потока нейтринного излучения от коллапсирующего ядра звезды, либо в каких-либо других неравновесных процессах.

ПРОНИЦАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ТЕЛЕСКОПА — предельная звёздная величина объектов, которые уверенно можно зарегистрировать данным телескопом. Иногда её называют также проницающей силой телескопа. Её значение зависит от многих факторов, важнейшие из которых — размер объектива и качество даваемого им изображения, чувствительность (квантовый выход) приёмника света, оптическое качество атмосферы в месте наблюдения. Если наблюдение ведётся глазом в небольшой телескоп в ясную безлунную ночь, то проницающую силу можно оценить по формуле

$$m = 2 + 5 \lg D,$$

где D — диаметр объектива в миллиметрах. Проницающая способность лучших (крупнейших) телескопов при использовании электронных приёмников света приближается к 30^m .

ПРОТИВОСИЯНИЕ — очень бледное и неяркое свечение на ночном небе, в области,

противоположной Солнцу. Свечение имеет форму размытого пятна диаметром около 20° . В западной научной литературе, независимо от национального языка, противостояния называют немецким словом *Gegen-schein*. В англоязычной научно-популярной литературе используется также термин *counterglow*. В начале XX в. в русской литературе его называли «противосветом». В нём, как и в спектре зодиакального света, видны фраунгоферовы линии солнечного спектра. Следовательно, оба явления обусловлены рассеянием солнечного света на межпланетных пылинках. Измерения, проведенные в 1972 г. с зонда «Пионер-10» (NASA), когда по пути к Юпитеру он находился на расстоянии 9 млн км от Земли, показали, что противостояние не связано с Землёй и обусловлено рассеянием солнечного света на пылевых частицах межпланетного пространства, расположенных за пределами земной орбиты. За пределами Главного пояса астероидов противостояние не наблюдается, что говорит о значительном снижении там концентрации пыли.

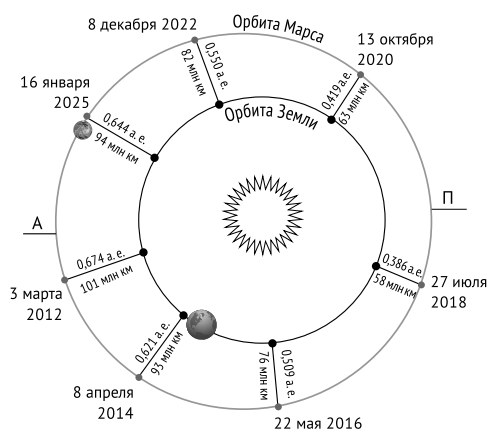
ПРОТИВОСТОЯНИЕ ПЛАНЕТ — такое расположение планеты (или иного тела Солнечной системы) на небе, когда её эклиптическая долгота отличается на 180° от долготы Солнца. При этом Земля находится на одной прямой между Солнцем и планетой. В противостоянии планета пересекает не-

бесный меридиан в полночь, располагается ближе всего к Земле и имеет максимальный блеск. Моменты противостояния являются наилучшим для наблюдения внешних планет (от Марса до Нептуна) и большинства астероидов, поскольку в это время планета находится на минимальном расстоянии до Земли и её диск полностью освещён Солнцем. Вместо слова «противостояние» астрономы нередко используют слово «оппозиция», от лат. *oppositio* и англ. *opposition*. См. также *Великое противостояние Марса*.

ПРОТОЗВЁЗДЫ — обособившиеся из газовой-пылевой облака в результате его гравитационной неустойчивости плотные конденсации вещества, в недрах которых ещё не достигнуты температуры, необходимые для начала термоядерных реакций — основного источника энергии звёзд. Стадия протозвезды — это завершающий этап формирования звезды, который продолжается вплоть до момента загорания термоядерных реакций в ядре протозвезды, после которого её сжатие прекращается и она становится звездой главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга — Рассела.

ПРОТОПЛАНЕТНЫЙ ДИСК — газово-пылевой диск, обращающийся вокруг молодой звезды и содержащий остатки протозвёздного вещества, из которого могут формироваться планеты, их спутники и другие, малые, тела будущей планетной системы, принадлежащей данной звезде. Если звезда своим излучением и звёздным ветром не разрушает этот диск до конца, в нём сначала формируются небольшие протопланетные тела (планетезимали), часть из которых затем объединяется в крупные планеты и их спутники, а другая часть остаётся в виде астероидов и ядер комет.

Вещество диска, по-видимому, является остатком протозвёздного облака, не вошедшим в состав звезды по причине его высокого удельного момента импульса. Около 5 млрд лет назад в протопланетном диске, обращавшемся вокруг Солнца, началось формирование планет Солнечной системы. Косвенные свидетельства существования подобных дисков вокруг некоторых звёзд были известны давно, но их прямые изображения были получены только с по-



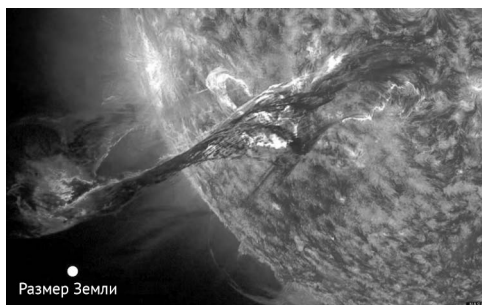
Противостояния Марса с 2012 г. по 2025 г. У орбиты Марса указаны точки перигелия (П) и афелия (А). На радиальных линиях, соединяющих планеты в моменты противостояний, указаны минимальное расстояние от Земли до Марса.

мощью космического телескопа «Хаббл» в конце 1990-х гг.

ПРОТУБЕРАНЕЦ (от лат. *protuberо* вздуваюсь — плотное, волокнистое и клочковатое облако газа в солнечной короне, которое выглядит красным и ярким при наблюдении солнечного лимба, а при наблюдении солнечного диска в сильных спектральных линиях выглядит тёмным и узким волокном. Протуберанцы — это облака хромосферного вещества, поднятые в солнечную корону и некоторое время удерживаемые там от падения давлением магнитного поля. Различаются структурой постоянно движущихся нитей и сгустков плазмы и формой и классифицируются по морфологическим либо динамическим признакам. Наиболее долгоживущие структуры — медленно изменяющиеся спокойные протуберанцы, подобные «белью», «свисающему» вертикально с силовых линий магнитного поля. Именно они при наблюдении проецируются на диск Солнца как длинные узкие волокна, которые на изображениях в сильных спектральных линиях выглядят тёмными.

Протуберанцы — крупные образования, нередко превосходящие размером Землю. Они отличаются от окружающего их вещества повышенной плотностью и пониженной температурой. Это наиболее заметный тип проявления активности в солнечной короне. В моменты полной фазы солнечного затмения они бывают видны невооружённым глазом в виде ярких выступов у края диска Луны (отсюда их название). Вне затмения наблюдаются при помощи внезатменных коронографов, хромосферных телескопов и солнечных спектрографов в сильных спектральных линиях солнечного спектра (бальмеровская серия водорода, линии He, K Call). На лимбе протуберанцы видны как яркие эмиссионные облака и струи.

Типичный протуберанец имеет вид гигантской светящейся арки, которая опирается на хромосферу и образована струями более плотного и холодного, чем окружающая корона, газа. Высота такого протуберанца 15–100 тыс. км при длине 60–600 тыс. км и толщине всего 4–15 тыс. км. При хорошем разрешении видно, что протуберанец



Солнечный протуберанец. Фото NASA.
Для масштаба показан размер Земли

состоит из множества тонких нитей. Описанный наиболее распространённый тип протуберанцев называют спокойным. Этому типу соответствуют упомянутые выше волокна. Время их жизни может достигать многих месяцев. Постепенно волокна смещаются к полюсам Солнца, их длина увеличивается, а ориентация постепенно принимает восточно-западное направление. Примерно через 10 оборотов Солнца волокна достигают полярной области, где могут существовать ещё около 5 месяцев.

Часто встречается другой тип протуберанцев — так называемые активные протуберанцы, в которых наблюдаются быстрые изменения и активные движения. Многие спокойные протуберанцы также переживают активную стадию, длящуюся от десятков минут до нескольких суток, нередко заканчивающуюся полным исчезновением самого протуберанца или его превращением (обычно под действием возникшей вблизи солнечной вспышки) в эруптивный протуберанец, то есть в выброс вещества в корону, происходящий со скоростью порядка нескольких сотен километров в секунду. Обычно скорость выброшенного вещества меньше параболической скорости, и в конце концов вещество вновь падает на Солнце.

ПРОХОЖДЕНИЕ — видимое пересечение светилом какой-либо линии или области на небе. Под прохождением звезды обычно понимают пересечение ею небесного меридиана. Прохождение планеты происходит по диску Солнца, при этом планета видна на его фоне как чёрное пятнышко. В Солнечной системе земной наблюдатель может видеть прохождение по Солнцу только внутренних

(нижних) планет — Меркурия и Венеры, но в иных планетных системах мы можем наблюдать прохождение по диску звезды любой экзопланеты, если находимся вблизи её орбитальной плоскости. При этом яркость звезды немного уменьшается вследствие её частичного затмения. Этим пользуются для обнаружения экзопланет.

Русскому термину «прохождение» соответствует английский термин «transit». Нередко журналисты и любители астрономии переводят его на русский как «транзит» и пишут, например, «наблюдался транзит планеты по диску звезды» или даже «транзитная планета». Профессиональные астрономы обычно так не говорят и не пишут. В 2012 г. в русской научно-популярной литературе родился новый синоним термину «прохождение» — микрозатмение. Он вполне адекватный и симпатичный, поэтому имеет шанс сохраниться.

ПРОХОЖДЕНИЯ ВЕНЕРЫ ПО СОЛНЦУ — видимое пересечение Венерой солнечного диска в тот момент, когда она оказывается между Землёй и Солнцем. Обычно полное время прохождения занимает около 6 часов (не более 7,5 часов), но может быть и заметно короче, если видимый путь Венеры лежит вдали от диаметра Солнца. В момент прохождения Венера видна как маленький тёмный диск (диаметром 1') на фоне большого (30') и яркого солнечного диска. Наблюдая за прохождением Венеры из раз-



Прохождение Венеры по Солнцу 8 июня 2004 г.

Прохождения Венеры за последние 500 лет

25/26 мая 1518 г.	
23 мая 1526 г.	Последнее прохождение до изобретения телескопа.
7 декабря 1631 г.	Впервые прохождение предвычислил Кеплер.
4 декабря 1639 г.	Впервые прохождение наблюдали в телескоп.
6 июня 1761 г.	Ломоносов открыл атмосферу Венеры.
3/4 июня 1769 г.	Кук наблюдал прохождение на о. Таити.
9 декабря 1874 г.	Уточнена астрономическая единица.
6 декабря 1882 г.	Композитор J. Ph. Sousa создал марш «The Transit of Venus».
8 июня 2004 г.	Первая международная медиа-трансляция прохождения Венеры
5/6 июня 2012 г.	В Европе и Западной Сибири не наблюдается.

Прохождения в течение будущих 500 лет

10/11 декабря 2117 г.	В Европе и Западной Сибири не наблюдается.
8 декабря 2125 г.	Частично видно в Европе.
11 июня 2247 г.	Видно в Европе и частично к востоку от Урала.
9 июня 2255 г.	Полностью видно в России.
12/13 декабря 2360 г.	Видно к востоку от Урала.
10 декабря 2368 г.	Начало видно в западных областях России.
12 июня 2490 г.	Полностью видно на большей территории России.
10 июня 2498 г.	Видно на всей территории России.

ных пунктов на Земле и точно измеряя длительность пересечения солнечного диска, можно определить горизонтальный параллакс Венеры и вычислить длину астрономической единицы. Этим активно занимались астрономы в XVIII и XIX столетиях.

Прохождения Венеры по Солнцу наблюдаются в моменты её нижних соединений с Солнцем, но далеко не каждый раз, поскольку орбита Венеры наклонена к эклиптике на $3,4^\circ$, и в моменты нижних соединений Венера может быть видна на расстоянии до $9,6^\circ$ от центра Солнца (угловой диаметр солнечного диска всего $0,5^\circ$). Прохождение по Солнцу можно наблюдать, только когда Венера и Земля находятся вблизи узлов орбиты Венеры, т. е. Солнце, Венера и Земля располагаются примерно на одной линии. Земля проходит через эти точки дважды в году, в нашу эпоху — в июне и декабре.

Прохождения Венеры по Солнцу происходят сериями по два приблизительно раз в столетие: наблюдается два прохождения, разделённых 8 годами, затем следует перерыв в 121,5 года, затем ещё два прохождения с промежутком в 8 лет и перерыв в 105,5 года. Таким образом, полный цикл, содержащий 4 прохождения, длится 243 года. Иногда в этой последовательности могут быть небольшие вариации, но в целом она неплохо описывает картину прохождений Венеры. Объясняется это тем, что соотношение между орбитальными периодами Земли и Венеры близко к резонансам 8:13 и 243:395.

ПРОХОЖДЕНИЯ МЕРКУРИЯ ПО СОЛНЦУ — видимое пересечение Меркурием солнечного диска в тот момент, когда он оказывается между Землёй и Солнцем. Обычно полное время прохождения занимает около 4–5 часов (не более 8 часов), но может быть и заметно короче, если видимый путь Меркурия лежит вдали от диаметра Солнца. В момент прохождения Меркурий виден как маленький (диаметром 12") тёмный диск на фоне большого (30') и яркого солнечного диска.

Прохождения Меркурия по Солнцу наблюдаются значительно чаще, чем прохождения Венеры. Они также происходят в моменты нижних соединений Меркурия с Солнцем, но далеко не каждый раз, поскольку орбита Меркурия наклонена к эклиптике на 7° и в моменты нижних соединений Меркурий может быть виден на расстоянии до 4,5° от центра Солнца, а угловой диаметр солнечного диска всего 0,5°. Прохождение по Солнцу можно наблюдать, только когда Меркурий и Земля находятся вблизи узлов орбиты Меркурия, т. е. Солнце, Меркурий и Земля располагаются примерно на одной линии. Земля проходит через эти точки дважды в году; в нашу эпоху — в мае и ноябре. Ноябрьские прохождения происходят с интервалами в 7, 13 или 33 года, а майские — только с интервалами в 13 и 33 года.

В XX в. майские прохождения Меркурия происходили в 1924, 1937, 1957 и 1970 гг., а ноябрьские — в 1907, 1914, 1927, 1940, 1953, 1960, 1973, 1986, 1993 и 1999 гг. В XXI в. майские прохождения приходятся на 2003, 2016,

2049, 2062 и 2095 гг., а ноябрьские — на 2006, 2019, 2032, 2039, 2052, 2065, 2078, 2085 и 2098.

Внимание! При наблюдении прохождений планет по Солнцу не забывайте защищать глаза от яркого солнечного света!

ПРОЦИОН — α Малого Пса, звезда 0,38^m, удалённая от Солнца на 11,4 светового года. В 1844 г. по колебаниям собственного движения Ф. Бессель заподозрил наличие у Проциона спутника, а 14 ноября 1896 г. Дж. Шеберле, наблюдая Процион в 36-дюймовый рефрактор Ликской обсерватории, обнаружил этот спутник, который оказался белым карликом, обращающимся по орбите с периодом 40,65 года.

ПРЯМОЕ ВОСХОЖДЕНИЕ — одна из двух координат в экваториальной системе небесных координат; вторая координата — склонение. Прямое восхождение — это угол, измеряемый в сторону годичного движения Солнца (то есть на восток) вдоль небесного экватора от точки весеннего равноденствия до меридиана, проходящего через полюсы мира и небесный объект. Отсчитывается в пределах от 0 до 360° (в градусной мере) или от 0 до 24^h (в часовой мере). Например, прямое восхождение точки летнего солнцестояния составляет 90°, или 6^h. Обычно в записи координат и в формулах прямое восхождение обозначается греческой буквой α , значительно реже — латинскими буквами R. A. или RA (от англ. *right ascension*).

ПРЯМОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ — видимое с Земли перемещение планет относительно звёзд с запада на восток, соответствующее направлению их обращения вокруг Солнца.

ПТОЛЕМЕЕВА СИСТЕМА МИРА — получившая завершение в трудах древнегреческого астронома Птолемея геоцентрическая система мира.

ПУЛКОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ, Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук. Расположена в 19 км от центра Санкт-Петербурга на Пулковских высотах (75 м над уровнем моря). Основана в 1839 г. как обсерватория Императорской АН под руководством В. Я. Струве. В XIX в. за высочайшее качество астрометрических измерений получила не-

официальный титул «астрономической столицы мира».

ПУЛЬСАРЫ — астрономические объекты, испускающие мощные, строго периодические импульсы электромагнитного излучения. Первыми были открыты радиопульсары, а затем обнаружались оптические, рентгеновские и γ -пульсары, при этом все они оказались нейтронными звёздами. У каждого из пульсаров свой период пульсаций. Зарегистрированные периоды лежат в диапазоне от 640 импульсов в секунду до одного импульса за 5 сек. Но периоды большинства пульсаров составляют от 0,5 до 1 с. Энергия излучения пульсара, которая регистрируется в импульсах, составляет лишь малую долю приходящей энергии его непрерывного излучения. Строгая периодичность импульсов является следствием вращения пульсара. Вращение же служит источником излучаемой энергии; это следует из того, что промежутки между импульсами у всех пульсаров медленно возрастают, а значит, вращение звезды замедляется.

Первый пульсар открыли в 1967 г. астрономы Кембриджского университета — аспирантка Джоселин Белл и её руководитель профессор Энтони Хьюиш. Исследовав одну за другой множество возможных причин, в том числе и приём сигналов внеземного разума, астрономы остановились на единственно возможном объяснении: источником периодических импульсов служат быстро вращающиеся нейтронные звёзды, предсказанные теоретиками ещё в 1939 г. За открытие радиопульсаров Э. Хьюиш в 1974 г. был награжден Нобелевской премией

Первый пульсар получил обозначение CP 1919, что значит «кембриджский пульсар» (Cambridge Pulsar), имеющий прямое восхождение 19 часов 19 минут. Сразу после открытия в поиски пульсаров включились крупнейшие радиообсерватории мира, давая обнаруженным объектам обозначения по своим каталогам. К 1975 г. было обнаружено 150 пульсаров. Для унификации их все стали обозначать буквами PSR с указанием прямого восхождения (до минут) и склонения (до градуса). Теперь первый пульсар носит обозначение PSR 1919+21; он имеет период 1,3373 с и длительность импульса

0,037 с. Наиболее детально исследован пульсар PSR 0531+21 в Крабовидной туманности. Эта нейтронная звезда делает 30 оборотов в секунду (период пульсара 0,033 с); она родилась менее тысячи лет назад, вспышку сверхновой на этом месте в созвездии Тельца наблюдали на Земле в 1054 г.

Радиоастрономы всего мира продолжают поиски пульсаров в нашей и соседних галактиках. В ноябре 1998 г. в Паркесской обсерватории (Австралия) был открыт 1000-й радиопульсар. К концу 2012 г. обнаружено 2000 радиопульсаров, а в 2020 г. — более 2500. В 2016 г. был открыт первый пульсар, который является не нейтронной звездой, а белым карликом с сильным магнитным полем. Он располагается в двойной системе AR Scorpii рядом с красным карликом, вращается вокруг оси с периодом 1,95 мин и демонстрирует сильные пульсации от ультрафиолета до радиоволн.

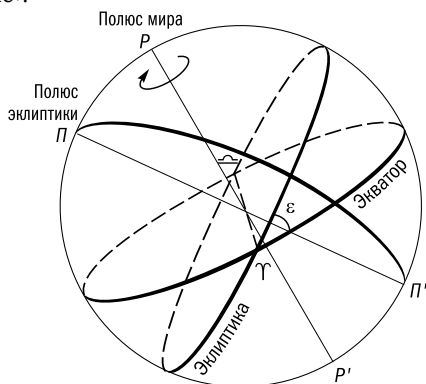
ПУЛЬСИРУЮЩИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ — тип переменных звёзд, излучение, температура поверхности и спектр которых меняются из-за расширения и сжатия внешних слоёв звезды. Если пульсации радиальные, то они симметрично распространяются по всей поверхности и звезда сохраняет форму шара. Так пульсирует большинство гигантов и сверхгигантов, включая цефеиды, звёзды типа RR Lyg, RV Tau и мириды. Если пульсации нерадиальные, как, например, у звёзд типа ZZ Ceti, то волны выходят в разных точках поверхности в разных фазах, и наблюдатель видит распространение волны по поверхности в различных направлениях. Это приводит к возникновению дополнительных периодов и к разным формам максимумов и минимумов блеска.

Р

РАВНОДЕНСТИЕ — момент прохождения центра Солнца в его видимом движении по небесной сфере через небесный экватор. Равноденствие происходит 20–21 марта (весеннее равноденствие) и 22–23 сентября (осеннее равноденствие). В это время продолжительность дня и ночи одинакова.

Чтобы избежать севернотолушарного шовинизма, их иногда называют «мартов-

ское равноденствие» и «сентябрьское равноденствие» и соответственно «июньское солнцестояние» и «декабрьское солнцестояние».



Точки весеннего (♌) и осеннего (♎) равноденствий лежат на пересечении небесного экватора и эклиптики.

РАДИАНТ (лат. *radians* излучающий) — точка перспективы, из которой кажутся выходящими объекты, параллельно движущиеся в сторону наблюдателя, или в которой сходятся траектории объектов, удаляющихся от наблюдателя. Например, для потока параллельных метеоров это точка на небесной сфере, из которой они выходят, т. е. в которой пересекаются их продолженные назад траектории. Положение радианта определяется взаимной ориентацией в пространстве векторов скоростей движения Земли и частиц метеорного потока. Созвездие, в котором расположен радиант, часто используют для наименования метеорного потока, например, Леониды, Лириды, Персеиды и т. д. Собственные движения звёзд, принадлежащих одному близкому к нам скоплению, также пересекаются вблизи одной точки на небе, которую называют радиантом движущегося скопления. Причина в том, что характерная скорость скоплений относительно Солнца (30–50 км/с) значительно больше, чем скорость хаотического движения звёзд внутри скопления (1–2 км/с).

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В КОСМОСЕ — уровень радиационной опасности для человека, работающего за пределами земной атмосферы без эффективных средств защиты. Дозу радиации, полученную человеком, измеряют в системе СИ в

зивертах (Зв) или во внесистемных единицах бэрах (бэр = биологический эквивалент рентгена). Соотношение между ними: 1 Зв = 100 бэр. Доза более 1 зиверта приводит к сильному радиационному поражению организма. Доза более 5 Зв практически смертельна.

От естественного радиоактивного фона человек на уровне моря получает около 0,03 бэр/год; на высоте 3000 м — около 0,1 бэр/год; в стратосфере на высоте 12 000 м — около 3 бэр/год. На низкой околоземной орбите (300–500 км) космонавты получают около 10 бэр/год, т. е. 0,1 Зв/год, если на Солнце не было сильных вспышек. Для сравнения: максимально допустимая доза облучения работников атомных станций обычно принимается от 0,02 до 0,05 Зв/год. Для космонавтов в полёте продолжительностью 1 год считается допустимой доза 0,5 Зв.

В радиационных поясах Земли радиоактивный фон составляет 15 Зв/год, в межпланетном пространстве — около 0,2 Зв/год, на поверхности Луны — около 0,1 Зв/год. Сильная солнечная вспышка может дать дозу свыше 10 Зв. На поверхности Луны средняя годовая доза солнечной активности — около 5 Зв, максимальная — 10 Зв. Поэтому в лунном убежище для космонавтов толщина защиты из реголита плотностью 1,5 т/м³ должна быть 2–3 м. В межпланетном полёте эффективная защита космонавта пока невозможна. При полёте к Марсу и обратно только от фоновой радиации космонавт получит около 1 Зв. Если за этот период (около 4 лет) на Солнце произойдут сильные вспышки, то доза будет значительно выше.

РАДИАЦИОННЫЙ ПОЯС ПЛАНЕТЫ — область пространства вокруг планеты, заполненная заряжёнными частицами, которые захвачены магнитным полем планеты. Обычно это частицы высоких энергий — десятки и сотни МэВ. Земное магнитное поле улавливает частицы солнечного ветра (протоны и электроны) и формирует вокруг Земли две заполненные ими тороидальные области на высотах около 4000 и 17 000 км от поверхности Земли. В англоязычной литературе их нередко называют поясами Ван Аллена в честь физика, приборы которого, установленные на первых американских

спутниках, позволили открыть первый (внутренний) радиационный пояс. Практически одновременно его обнаружили и советские физики. Самыми мощными радиационными поясами среди планет обладает Юпитер.

РАДИОАСТРОНОМИЯ — раздел астрономии, занимающийся исследованием источников космического радиоизлучения. Регистрация этого излучения происходит с помощью радиотелескопов в широком диапазоне радиоволн — от миллиметровых до километровых.

Радиоастрономия зародилась в начале 1930-х гг., когда американский радиоинженер Карл Янский (1905–1950) из компании «Белл Телефон» изучал помехи радиотелефонной связи. Для этого он сконструировал направленную антенну и использовал высокочувствительный по тем временам приёмник. Наряду с хаотическими помехами атмосферного происхождения (грозовые разряды, ионосферные шумы и др.) Янский заметил регулярные вариации мощности радиошума, период которых в точности совпадал с периодом вращения Земли. Вскоре он надёжно установил космическое происхождение источника этих сигналов и обнаружил, что они приходят из центральной части Млечного Пути.

Первый настоящий радиотелескоп создал в 1937–1938 гг. американский радиоинженер Гроут Ребер (1911–2002), самостоятельно построивший из листов железа 9-метровый рефлектор. Ребер составил первую радиокарту неба и нашёл, что на волне 1,5 м излучает весь Млечный Путь, но наиболее сильно — его центральная часть.

Радиоизлучение Солнца в сантиметровом диапазоне в 1942–1943 гг. открыл Ж. Саузворт, хотя немного раньше, в феврале 1942 г. Дж. Хей заметил, что в метровом диапазоне Солнце «ставит помехи» радиолокаторам, когда на нём происходят вспышки.

До Второй мировой войны космическое радиоизлучение не интересовало астрономов. Новый метод исследования космоса требовал новых, необычных инструментов наблюдения и новых исследований, владеющих этими методами. Во время войны развитие радиотехники ускорилось. Антенны и высокочувствительные

приёмники созданных в это время радарных систем дали мощный толчок развитию радиоастрономических исследований. С 1950-х гг. началось бурное развитие радиоастрономии.

Как работают радиоастрономы. Распространяющиеся в космическом пространстве радиоволны можно зарегистрировать наземными приёмниками в диапазоне частот от $\nu \approx 10$ МГц ($\lambda \approx 30$ м) до $\nu \approx 30$ ГГц ($\lambda \approx 1$ см). Радиоволны с $\lambda > 30$ м не проходят через ионосферу Земли. Наблюдения в этом диапазоне могут проводиться радиотелескопами, вынесенными за пределы атмосферы. Радиоволны с $\lambda < 1$ см поглощаются молекулами атмосферных газов. Однако эта граница атмосферного «радиоокна» не резкая. Она представляет собой ряд интервалов прозрачности и полупрозрачности между полосами поглощения молекул, что позволяет проводить наблюдения на некоторых волнах миллиметрового диапазона, в частности вблизи длин волн 8, 4 и 2,6 мм. Полностью непрозрачной атмосфера становится на частотах выше 200 ГГц. Радиоастрономические наблюдения, в отличие от оптических, можно проводить и в облачную погоду, так как атмосферные условия слабо влияют на прохождение радиоволн (кроме сантиметрового и миллиметрового диапазонов).

Если бы «радионебо» можно было видеть так же, как мы видим в ясную ночь звёздное небо, нам представилась бы картина, не похожая на ту, которую мы видим в световых лучах. Мы увидели бы более широкую (в 2–3 раза) яркую полосу вдоль Млечного Пути со значительным увеличением яркости в галактическом центре (оптическое излучение от центра Галактики ненаблюдаемо из-за сильного поглощения света межзвёздной пылью). Все небо было бы усеяно «радиозвёздами» и протяжёнными туманностями различной яркости. При сопоставлении вида неба в световых и радиолучах мы обратили бы внимание на странное, на первый взгляд, несоответствие: на месте многих оптически ярких звёзд не было бы видно даже слабых «радиозвёзд», в то время как некоторые оптически слабые объекты, невидимые невооружённым глазом, в ради-

олучах были бы очень яркими. При помощи сильного оптического телескопа на месте некоторых ярких «радиозвезд» мы увидели бы далёкие туманности и слабые звездобразные объекты — галактики и квазары. Самым ярким объектом радионеба остаётся Солнце (из-за близости к нам). Однако мощность его радиоизлучения в миллионы раз меньше оптического. Это сравнение показывает, насколько слабо, вообще говоря, радиоизлучение космоса и почему его интенсивное исследование стало возможным лишь после создания гигантских высокочувствительных радиотелескопов. Вторым по потоку радиоизлучения источником является туманность в созвездии Кассиопеи (радиоисточник Кассиопея А) — остаток вспышки сверхновой звезды. Но уже следующим по наблюдаемому потоку излучения объектом является радиоисточник в созвездии Лебеда, отождествлённый с далёкой (расстояние около 200 Мпк) тусклой (16^m) радиогалактикой Лебедь А. Абсолютное большинство ярких источников на «радионебе» — внегалактические объекты (радиогалактики и квазары).

РАДИОГАЛАКТИКА — галактика, отличающаяся необычно сильным радиоизлучением. Обычно это крупные массивные галактики с плотной центральной областью — ядром. У наиболее мощных радиогалактик светимость в радиодиапазоне превышает оптическую светимость. Механизм их радиоизлучения синхротронный, т. е. связан с движением в магнитном поле энергичных электронов, выброшенных из активного ядра галактики. Ближайшие радиогалактики — Кентавр А (NGC 5128) и Дева А (NGC 4486).

РАДИОЛИНИЯ 21 САНТИМЕТР — спектральная линия атома водорода с длиной волны 21,1 см (частота 1420,4 МГц). Это излучение обусловлено сверхтонким расщеплением основного уровня энергии атома водорода на два близких подуровня. Переход электрона между этими подуровнями состоит в том, что спин электрона меняется из параллельного ядру атома на антипараллельный. Вероятность этого перехода крайне мала ($3 \cdot 10^{-15} \text{ с}^{-1}$), но громадное количество атомов водорода во Вселенной приво-

дит к тому, что линия является легко детектируемой, и поэтому используется, например, для построения карт распределения водорода в нашей галактике и в соседних.

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ (РАДАРНАЯ) АСТРОНОМИЯ — раздел астрономии, изучающий небесные тела путём посылки к ним зондирующего радиосигнала и анализа отраженного радиосэха. Система из передатчика, антенны и приёмника — радар — может располагаться как на Земле, так и на космическом аппарате. Радарная астрономия, в отличие от радиоастрономии, изучает не собственное радиоизлучение небесных тел, а отражённое от них искусственное радиоизлучение.

Метеоры. Для исследования метеоров используются стандартные авиационные радары, но на более длинной волне. Двигаясь с высокой скоростью в атмосфере, метеорные частицы оставляют за собой ионизованный след, от которого отражаются радиоволны. Обычно этот след возникает на высоте 80–110 км и сохраняется от одной до нескольких секунд. По характеру отражённых импульсов можно судить о размере, скорости и направлении полёта частицы, а также о строении атмосферы на этих высотах.

Луна. До полётов на Луну её радиолокация дала много полезных сведений. Используя волны разной длины — от 8 мм до 20 м, — по характеру их взаимодействия с лунной поверхностью узнали её диэлектрическую постоянную, что позволило приблизительно определить состав грунта. По величине рассеяния волн определили степень неровности лунной поверхности. Оказалось, что поверхности материковых и морских районов заметно различаются.

Планеты. Планеты значительно дальше Луны, поэтому для их локации требуется гораздо более мощное оборудование. Например, отраженный сигнал от Венеры в 10 млн раз слабее, чем от Луны. Полеты к планетам требуют точного знания расстояния до них, поэтому в начале 1960-х гг. была значительно увеличена мощности радиолокаторов и с их помощью точно измерено расстояние до Венеры, уточнившее и все прочие расстояния в Солнечной системе.

Результаты локации позволили уточнить орбиты планет, их диаметры и скорость вращения. О вращении Венеры, покрытой облаками, до этих экспериментов вообще ничего не было известно. Локация показала, что её звёздные сутки длятся в 243 раза дольше земных суток, т. е. на 18 суток дольше венецианского года. Иными словами, один поворот вокруг оси у Венеры занимает больше времени, чем оборот вокруг Солнца. К тому же вращается Венера, как выяснилось, обратном направлении относительно своего орбитального движения, чем существенно отличается от других планет.

Локация Венеры позволила также впервые «взглянуть» на её поверхность. Это стало возможным, благодаря методу «задержка — смещение», позволяющему узнать, от какой области планеты пришёл отражённый сигнал. Когда радар посылает сигнал к планете, он «освещает» весь её видимый диск коротким импульсом в узком диапазоне частот. Но отражённый сигнал, как мы уже знаем, приходит растянутым по времени и по частоте. Сдвиг по частоте зависит от того, на каком расстоянии от оси вращения планеты лежит отражающая область: чем она дальше, тем больше её скорость и сильнее сдвиг. Все точки диска на полоске диска, параллельной оси вращения, движутся к нам с одинаковой скоростью, следовательно, отражённые от них сигналы имеют одинаковое доплеровское смещение длины волны. Поскольку планета сферическая, все точки на кольце вокруг центра диска одинаково удалены от Земли, значит, отражённые от них сигналы придут к нам с одинаковой задержкой. Выделяя определённую длину волны и временную задержку, мы получаем сигнал, отражённый двумя областями, где окружность пересекается вертикальной полосой. Чтобы выделить сигнал от каждой из них по отдельности, применяют другую технику — интерферометрию. Так, точка за точкой, получают радарную карту планеты.

С помощью метода «задержка — смещение» были получены карты Венеры двух типов: на одних показана степень отражения радиоволн от различных участков поверхности, а на других — перепады высот между ними. Вместе они позволяют изучать топо-

графию Венеры, её высокие горы, кратеры и долины, а также судить о структуре её поверхности. На картах, полученных наземными радарными, мельчайшие детали поверхности Венеры имеют размер 3 км. Но значительно более подробными оказались карты Венеры, полученные радарными с борта межпланетных зондов «Пионер-Венера-1» (NASA, 1978), «Венера-15, -16» (СССР, 1983) и «Магеллан» (NASA, 1990), ставших спутниками Венеры: на лучших из них различимы детали поверхности размером до 100 м.

Радиолокация Меркурия показала, что период его вращения вокруг оси составляет около 59 земных суток и не совпадает с орбитальным периодом длительностью 88 сут, как считалось до этого. Поэтому Солнце освещает оба полушария планеты, а не одно, как думали раньше.

Локация Марса выявила на его поверхности большие перепады высот, до 15 км. Позже наблюдения с орбиты подтвердили, что на Марсе действительно встречаются горы такой высоты. Методом радиолокации изучали также кольца Сатурна, спутники Юпитера, астероиды и ядра комет.

РАДИОТЕЛЕСКОП — устройство для сбора, детектирования и усиления длинноволнового электромагнитного излучения. Иногда этапы детектирования и усиления разделяют, называя соответствующую часть инструмента «радиоприёмником», а под термином «радиотелескоп» подразумевают собственно физические структуры, собирающие радиоизлучение. Этими структурами могут быть отражающие параболические антенны, иногда в комбинации с вторичным отражателем по схеме Кассегрена, или менее привычные конструкции, например, набор облучателей, выстроенных вдоль фокальной линии параболического цилиндра, или фиксированные параболоиды, питаемые вспомогательными отражателями (радиотелескоп Краусса). В большинстве случаев собирающая часть радиотелескопа имеет большие геометрические размеры, что позволяет сконцентрировать излучение исходно слабых источников и повысить угловое разрешение инструмента. Более высокое разрешение и чувствительность можно получить, комбинируя выход-

ные сигналы двух и более отдельных радиотелескопов: на этом основаны конструкция фазированной решётки, метод интерферометрии и метод апертурного синтеза.

РАЗРЕШАЮЩАЯ СИЛА, или **разрешение**, — мера того, насколько мелкие детали можно различить у объекта наблюдения с помощью данного оптического инструмента. Если две звезды видны в телескоп по отдельности на взаимном расстоянии не менее Q угловых секунд, то Q называют «предельным углом разрешения» (или просто разрешением) телескопа, а обратную ему величину $1/Q$ — разрешающей силой телескопа. Для идеального объектива при отсутствии атмосферного размытия изображений в качестве Q принимают угловой радиус первого темного кольца в изображении удалённого точечного источника, т. е. радиус диска Эри, иными словами — расстояние первого минимума функции рассеяния точки (ФРТ) данного объектива.

РАЙСКАЯ ПТИЦА — небольшое южное созвездие. Вопреки красивому названию, оно не очень интересно. Его тусклые звезды расположены недалеко от полюса мира. Наибольший интерес представляет S Райской Птицы (S Aps). Она относится к очень интересной группе звёзд типа R Северной Короны. Блеск такой звезды может несколько лет держаться почти неизменным, а затем за короткое время ослабевает в десятки, а то и сотни раз. По прошествии нескольких недель, а то и года, звезда возвращается к нормальному состоянию. Временные ослабления яркости снижают блеск звезды S Aps с 10 до 15 звёздной величины (т. е. в 100 раз); причём в этих изменениях обнаруживается некоторая регулярность с периодом около 113 сут. Астрономы подозревают, что причиной ослабления блеска таких звёзд служит конденсация в их атмосфере вещества, похожего на сажу. Этому способствует избыток у них углерода и невысокая температура атмосферы. Время от времени чёрные облака затягивают небеса этих звёзд, скрывая от нас их яркую фотосферу.

РАК — зодиакальное созвездие. Согласно мифу, Рак уцепился Геракла за ногу, когда тот сражался с Гидрой; Геракл раздвинул Рака, а Юнона позже поместила его на не-

бо. Это самое неприметное из всех созвездий зодиака: его звёзды видны лишь в ясную безлунную ночь между Львом и Близнецами. Но в нём много интересных объектов. Арабское имя звезды α Спс — Акубенс, что значит «клешня»; это визуальная двойная звезда $4,3^m$; её спутник 12^m отстоит на $11''$ от главной звезды. Любопытно, что и сама главная — также двойная: два её одинаковых компаньона разделены расстоянием в $0,1''$. Для любительского телескопа это недоступно. Звезда ζ Спс — одна из интереснейших кратных систем: две её звезды образуют двойную систему с периодом обращения 59,6 лет, а третий компонент обращается вокруг этой пары с периодом около 1150 лет.

В Раке находятся два известных рассеянных скопления. Одно из них — Ясли (Praesepe, M44), которое иногда называют «Улей». Оно различимо глазом как туманное пятнышко чуть к западу от линии, соединяющей звезды γ и δ Рака. Первым разрешил это скопление на звезды Галилей. В современный телескоп в нём наблюдается около 350 звёзд в диапазоне блеска от $6,3^m$ до 14^m , причём около 200 из них являются членами скопления, а остальные — более близкие или далёкие звезды, случайно наблюдаемые в проекции на скопление. Ясли — одно из ближайших к нам звёздных скоплений: расстояние до него 520 св. лет, поэтому его видимый на небе размер весьма велик — втрое больше лунного диска. Второе скопление, M67, расположенное на $1,8^\circ$ к западу от звезды α Спс, удалено на 2600 св. лет и содержит около 500 звёзд от 10^m до 16^m . Это одно из самых старых рассеянных скоплений, его возраст более 3 млрд лет. Для сравнения: Ясли — скопление среднего возраста, ему всего 660 млн лет. Большинство рассеянных скоплений движутся в плоскости Млечного Пути, но M67 значительно удалено от неё, и это не случайно: вдали от плотного галактического диска скопление меньше разрушается и дольше живёт.

Географические понятия «тропик Рака» и «тропик Козерога» возникли несколько тысячелетий назад, когда точка летнего солнцестояния располагалась в созвездии Рака, а точка зимнего солнцестояния, соответственно, в Козероге. Прецессия земной

оси нарушила эту картину. Теперь географы называют эти линии на глобусе, удалённые от экватора на $23,5^\circ$, Северным тропиком и Южным тропиком.

РАССЕЯННЫЕ ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ (или просто «рассеянные скопления») — звёздные скопления в дисках спиральных и неправильных галактик, обычно состоящие из нескольких сотен или тысяч звёзд молодого или умеренного возраста (от 10 до 100 млн лет). Рассеянные скопления имеют меньшую плотность и выглядят более разреженными, чем шаровые скопления.

До середины XX в. рассеянные скопления нередко называли «галактическими скоплениями» по причине их видимой концентрации к Млечному Пути, т. е. к плоскости Галактики. Однако в последние десятилетия этот термин почти не употребляется. В то же время, журналисты и физики нередко переводят английский термин «galactic cluster» (скопления галактик) как «галактические скопления», что неверно, ибо приводит к путанице. Кроме того, в англоязычной научной литературе для рассеянных звёздных скоплений используется термин «open cluster», который в нашей научно-популярной литературе иногда неверно переводят как «открытое скопление», что тоже неверно. В профессиональной русскоязычной астрономии нет термина «открытое скопление», а есть только «рассеянное скопление».

Поскольку в большинстве областей Млечного Пути межзвёздное поглощение света очень велико, рассеянные скопления в нашей Галактике открыты и изучены весьма неполно: их популяция с высокой полнотой прослежена лишь до расстояния 700–800 пк от Солнца, а дальше известны только отдельные (наиболее молодые и богатые звёздами) скопления. Всего обнаружено около 1800 рассеянных скоплений, находящихся в основном в пределах 2 кпк от Солнца, а исследовано из них около 800. Ожидаемое число рассеянных скоплений в Галактике около 20 тыс. Даже в тех направлениях, где поглощение света не очень велико, далёкие скопления не обнаруживаются из-за высокой звёздной плотности Млечного Пути, на фоне которого далёкие скопления теряются. Два самых близких к нам рассеянных

скопления — Плеяды и Гиады — без труда видны невооружённым глазом в созвездии Телец. Ближайшее из них — Гиады — находится на расстоянии 47 пк (= 153 св. года).

Несмотря на то, что такие скопления называют рассеянными, это гравитационно связанные группы звёзд, имеющих близкий химический состав и возраст; т. е. несомненно имеющих общее происхождение.

Обычно в рассеянных скоплениях насчитывается от 100 до 1000 звёзд, но некоторые содержат $\sim 10^4$ членов. Типичная масса скоплений $\sim 10^3 M_\odot$, а концентрация звёзд около 1 пк^{-3} , что примерно на порядок выше, чем у звёзд поля. Рассеянные скопления состоят из относительно плотного ядра и более разреженной короны, содержащей, однако, сравнимое с ядром число звёзд. В среднем радиус ядра ≈ 3 пк, радиус короны в 2–10 раз больше (это зависит от массы скопления).

Для рассеянных скоплений характерен чрезвычайно разнообразный звёздный состав. В них наблюдаются голубые и красные сверхгиганты, гиганты, двойные и магнитные звёзды, различные переменные звёзды — цефеиды, вспыхивающие и др. В отличие от шаровых, рассеянные скопления сильно концентрируются к плоскости Галактики. Для большинства из них расстояние от галактической плоскости составляет не более 100–300 пк. Как и другие объекты плоской составляющей, эти скопления участвуют в обращении вокруг центра Галактики. Дисперсия пространственных скоростей рассеянных скоплений невелика — около 15 км/с, их орбиты характеризуются малым эксцентриситетом. Молодые скопления служат довольно хорошими индикаторами спиральной структуры Галактики.

В отличие от шаровых скоплений, у рассеянных намного разнообразнее вид диаграмм Герцшпрунга — Рассела (ГР), что связано с большой дисперсией возрастов рассеянных скоплений. Возраст самых молодых скоплений оценивается в несколько миллионов лет, а самых старых — в 5–10 млрд лет. Химический состав рассеянных скоплений весьма однороден — металличность скоплений (т. е. содержание в звёздах элементов тяжелее гелия) различа-

ется не более чем в 5 раз и в среднем близка к солнечной. Для сравнения: металличность шаровых скоплений может различаться в 20–30 раз, и в среднем она на 1–2 порядка меньше, чем у Солнца. Обнаружена связь между химическим составом рассеянных скоплений и их пространственным положением: металличность скоплений уменьшается с увеличением расстояния от центра Галактики и от плоскости диска. По-видимому, имеется зависимость между возрастом скоплений и их химическим составом: у старых скоплений металличность в среднем меньше.

Благодаря перечисленным свойствам рассеянные скопления играют важную роль в решении многих проблем астрофизики. Для теории внутреннего строения и эволюции звёзд эти скопления служат пробным камнем: большие различия в возрасте звёзд разных скоплений и близость их в одном и том же скоплении позволяют непосредственно сравнивать выводы теории эволюции звёзд с данными наблюдений. Так, указание на генетическую связь красных гигантов и звёзд ГП, давшее толчок развитию теории внутреннего строения звёзд, было получено на основе анализа ГР-диаграмм рассеянных скоплений.

Не менее важны для теории образования звёзд наблюдения молодых и формирующихся скоплений. Статистические исследования звёзд в молодых скоплениях дают информацию о начальной функции масс — распределении количества образующихся звёзд (N) по их массам (M). Для звёзд с массами от $1 M_{\odot}$ до $25 M_{\odot}$ начальная функция масс определена наиболее надёжно: её можно представить степенной функцией $dN/dM \sim M^{-7/3}$.

Возможность надёжно определять расстояния до рассеянных скоплений, их возраст, химический состав и другие параметры помогает решать широкий класс задач по изучению структуры и эволюции Галактики, определению характеристик звёзд с повышенной металличностью, цефеид, белых карликов и других интересных объектов. Рассеянные скопления играют важную роль при построении шкал спектральных и фотометрических калибровок. Фундамен-

том современной шкалы расстояний до космических объектов служит шкала расстояний до рассеянных звёздных скоплений.

РАССТОЯНИЯ ДО КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ — одна из самых важных и трудно определяемых характеристик космических объектов. От правильного определения расстояния до космического объекта зависит наше знание о его важнейших физических характеристиках — массе, светимости, космологическом возрасте и пр. Даже наши представления о прошлой и будущей эволюции Вселенной целиком основываются на измерении расстояний до далёких галактик.

Главная трудность при измерении космических расстояний заключается в их огромных значениях. Это исключает большинство привычных нам методов измерения и требует развития специальных астрономических методов, нередко основанных на множестве предположений. Хотя эти методы опираются на прямые наблюдательные данные очень высокой точности, их конечные результаты нередко не очень точны и требуют подтверждения независимыми методами. Поэтому нет ничего удивительного в том, что одни и те же расстояния в зависимости от избранной методики измерений иногда заметно различаются. Удивительно то, что эти гигантские расстояния в принципе возможно измерить и что год от года точность этих измерений растёт.

В астрономии нет единого универсального способа определения расстояний. По мере перехода от близких небесных тел к более далёким одни методы определения расстояний сменяют другие, служащие, как правило, основой для последующих.

Определение расстояний до планет. Среднее расстояние r планеты от Солнца (в долях а. е.) находят по периоду её обращения T :

$$r = [T^2(1 + M/M_{\odot})]^{1/3} \approx T^{2/3}, \quad (1)$$

где r выражено в а. е., а T — в земных годах. Массой планеты M по сравнению с массой Солнца $M_{\odot}$ можно пренебречь. Формула (1) следует из 3-го закона Кеплера. Расстояния до Луны и ближайших планет с высокой точностью определены методами оптической и радиолокации.

Определение расстояний до ближайших звёзд. Вследствие годичного движения Земли по орбите близкие звёзды немного перемещаются относительно далёких «неподвижных» звёзд. За год такая звезда описывает на небесной сфере малый эллипс, размеры которого тем меньше, чем дальше звезда. В угловой мере большая полуось этого эллипса приблизительно равна величине максимального угла, под каким со звезды видна 1 а. е. (большая полуось земной орбиты), перпендикулярная направлению на звезду. Этот угол (p), называемый годичным или тригонометрическим параллаксом звезды, служит для измерения расстояния до неё на основе тригонометрических соотношений между сторонами и углами треугольника Земля – Солнце – звезда, в котором известен угол p и базис – большая полуось земной орбиты.

Расстояние r до звезды, определяемое по величине её тригонометрического параллакса p , равно:

$$r = 206265''/p \text{ (а. е.)}, \quad (2)$$

где параллакс p выражен в угловых секундах, а число 206265 – округленное количество угловых секунд в радиане (более точное его значение – 206264,806247...). *Замечание:* в старых книгах параллакс часто обозначали буквой π , не имеющей отношения к известной математической константе; во избежание путаницы рекомендуется обозначать параллакс буквой p .

Для удобства определения расстояний до звёзд с помощью параллаксов в астрономии применяют специальную единицу длины – парсек (пк). Звезда, находящаяся на расстоянии 1 ПК, имеет параллакс, равный 1". Согласно формуле (2), 1 ПК = 206 265 а. е. = $3,0857 \cdot 10^{16}$ м. Связь между параллаксом и расстоянием, выраженным в парсеках, ещё проще:

$$r = 1/p \text{ (ПК)}. \quad (3)$$

Наряду с парсеком применяется ещё одна внесистемная единица расстояний – световой год, он равен 0,3066 ПК, или $9,46053 \cdot 10^{15}$ м. Ближайшая к Солнечной системе звезда – красный карлик 11-й звёздной величины Проксима Кентавра; её параллакс 0,769", т. е. расстояние до неё равно 1,301 ПК, или 4,24 св. года.

Нижний предел измерений тригонометрических параллаксов с поверхности Земли $\sim 0,01''$, поэтому так можно измерять расстояния, не превышающие 100 ПК (с относительной погрешностью 50%). Лишь на расстояниях до 20 ПК относительная погрешность не превышает 10%. Первый же опыт измерения параллаксов за пределом атмосферы, с помощью искусственного спутника Земли Hipparcos, позволил понизить указанный предел до $0,001''$, т. е. прямым тригонометрическим методом измерить расстояния до 1000 ПК. Так были измерены расстояния до 120 тыс. звёзд с блеском вплоть до 12^m . Второй астрометрический спутник Gaia (ESA) измеряет звёзды до 20^m , причем для звёзд ярче 15^m точность достигает $0,000024''$.

Кроме параллактических смещений близких звёзд, есть ещё лишь два случая, когда видимые перемещения деталей космических объектов можно использовать для точного определения расстояний до них. Это несколько движущихся близких звёздных скоплений и быстро перемещающиеся газовые оболочки или сгущения. Пример – новые и сверхновые звёзды, для разлетающихся оболочек которых наряду с видимой скоростью расширения в угловых секундах можно определить спектральным способом радиальную скорость расширения.

Фотометрический метод определения расстояний. Освещённости, создаваемые источниками света одинаковой мощности, обратно пропорциональны квадратам расстояний до них, а значит, видимый блеск одинаковых светил (т. е. освещённость, создаваемая у Земли на единичной площадке, перпендикулярной лучам) может служить мерой расстояний до них. Выражение освещённостей в звёздных величинах (m – видимая, M – абсолютная звёздная величина) приводит к следующей основной формуле фотометрических расстояний r_ϕ (ПК):

$$\lg r_\phi = 0,2[m - M - A(r)] + 1, \quad (4)$$

где $A(r)$ – межзвёздное поглощение света в пространстве между звездой и наблюдателем, выраженное в звёздных величинах

Для светил, у которых уже известны тригонометрические параллаксы, можно, определив M по этой же формуле (4), сопоста-

вить физические свойства с абсолютными звёздными величинами. Это сопоставление показало, что абсолютные звёздные величины многих классов светил (звёзд, галактик и др.) можно оценивать по ряду их физических свойств.

Основной способ оценки абсолютных величин звёзд — спектральный способ: в спектрах звёзд одного и того же спектрального класса обнаружены особенности, указывающие на их абсолютные величины. Чаще всего это усиление линий ионизованных атомов с возрастанием светимости звёзд (например, эффект Уилсона — Баппу). По таким признакам звёзды разделены на классы светимости (см. *Классы светимости*). По классам и более мелким подклассам светимости, оцениваемым по спектрам звёзд, можно находить их абсолютные величины с погрешностью до $0,5^m$. Эта погрешность соответствует относительной погрешности $\approx 30\%$ при определении r_f по формуле (4).

Для определения расстояний до звёздных скоплений имеется особый способ, использующий диаграмму «видимая величина — показатель цвета» звёзд скопления. Она сравнивается с диаграммой «абсолютная величина — показатель цвета», которая составлена по звёздам того же типа близких к нам скоплений (см. *Диаграмма Герцшпрунга — Рассела*). Сдвиг между сравниваемыми диаграммами по вертикали равен модулю расстояния ($m - M$), по которому при помощи формулы (4) и находят фотометрическое расстояние r_f звёздного скопления (с относительной погрешностью $\approx 20\%$).

Важный метод определения фотометрических расстояний в Галактике и до соседних галактик основан на свойстве переменных звёзд-цефеид. Короткопериодические цефеиды с периодами колебания блеска менее суток в среднем имеют абсолютную величину $+0,75^m$ (см. *Переменные звёзды типа RR Лир*). Они встречаются в шаровых звёздных скоплениях, в центральной области и сферическом гало Галактики и относятся к её звёздному населению II типа. По этим звёздам в конечном счёте найдены расстояния до шаровых звёздных скоплений и установлено расстояние от Солнца до центра Галактики.

Для классических долгопериодических цефеид установлена важная зависимость период — светимость. С её помощью можно определить абсолютные величины цефеид по длительности их периодов колебаний блеска и, следовательно, фотометрические расстояния до цефеид и звёздных скоплений, спиральных рукавов и звёздных систем, где они наблюдаются (см. *Зависимость период — светимость*). Погрешность определения расстояний по цефеидам составляет для звёздных скоплений в среднем 40% (в отдельных случаях меньше).

Определение внегалактических расстояний. Расстояния до ближайших галактик были установлены по оценкам видимых звёздных величин цефеид и ярчайших звёзд в этих звёздных системах. Более тысячи цефеид найдено в Магеллановых Облаках, несколько сотен — в Туманности Андромеды. Цефеиды обнаружены также во многих неправильных и спиральных галактиках, находящихся в радиусе около 30 Мпк вокруг нашей Галактики. Погрешность определения расстояний по ним составляет около 7% , увеличиваясь до 15% на максимальных расстояниях, где они ещё видны.

В системах, где не удастся обнаружить цефеиды, ищут ярчайшие звёзды — сверхгиганты и гиганты высших классов светимости. Ярчайшие сверхгиганты обнаружены во многих спиральных и неправильных галактик в радиусе до 10 Мпк (их абсолютные величины: от -9^m до -10^m). В эллиптических галактиках население I типа (долгопериодические цефеиды, сверхгиганты и горячие газовые туманности) отсутствует. Однако небольшие эллиптические галактики нашей Местной группы на фотографиях разделяются на звёзды, ярчайшие из которых оказались красными гигантами, аналогичными гигантам в шаровых звёздных скоплениях нашей Галактики. Абсолютная величина этих гигантов достигает -2^m , радиус обнаружения — около 10 Мпк. По красным гигантам удастся оценивать фотометрические расстояния до эллиптических галактик внутри Местной группы галактик и по соседству с ней с погрешностью $\approx 20\%$.

В качестве индикаторов расстояний используются также вспышки новых и сверх-

новых звёзд. Новые позволяют определять расстояния до 20 Мпк с погрешностью около $0,4^m$. Вспышки сверхновых — один из самых «дальнобойных» индикаторов расстояния: так, сверхновые типа Ia используются для измерения расстояний более 1000 Мпк.

Определение расстояний по красному смещению. Сравнение фотометрических расстояний до галактик с величиной смещения z их спектральных линий к красному концу спектра показало, что величина $z = (\lambda_{\text{прин}} - \lambda_{\text{испущ}}) / \lambda_{\text{испущ}}$ пропорциональна расстоянию r (закон Хаббла): $z = H_0 r / c$, где H_0 — постоянная Хаббла. Отсюда получается формула для определения расстояний до далёких галактик и квазаров:

$$r = cz / H_0 \text{ (Мпк)}. \quad (5)$$

В пределах гравитационно связанных систем галактик (пар, групп, скоплений) эта зависимость неприменима из-за собственных скоростей галактик в этих системах. Определение расстояний до сравнительно близких галактик по формуле (5) требует также учёта движения нашей Галактики в Местной группе галактик и Местной группы относительно окружающих галактик (эта скорость составляет несколько сотен километров в секунду).

Проверка пропорциональности красного смещения фотометрическому расстоянию для галактик и радиогалактик, предельно доступных наблюдениям в телескопы, в основном подтвердила закон Хаббла. Однако расстояние, определённое по красному смещению (хаббловское), уже нельзя считать фотометрическим, хотя H_0 и получена по фотометрическим расстояниям галактик. До 1000 Мпк система внегалактических расстояний (фотометрических и хаббловских) проверена прямыми определениями расстояний до сверхновых звёзд по измерениям их температур поверхности и скоростей расширения оболочек. Надёжных оценок значительно больших расстояний пока нет. Для галактик с $z > 0,5$ зависимость (5) принимает более сложный вид и неодинакова для различных космологических моделей Вселенной.

РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ — увеличение со временем средних расстояний между галактиками или их скоплениями. Проявля-

ется в том, что далёкие галактики обладают красными смещениями, свидетельствующими (в соответствии с эффектом Доплера) об их удалении от наблюдателя, причём скорости удаления (для не слишком больших красных смещений) пропорциональны расстояниям до объектов. Расширение Вселенной не затрагивает отдельные галактики или их системы (двойные галактики, группы и скопления галактик), где объекты связаны друг с другом гравитационными силами. Расширение Вселенной описывается космологическими теориями как проявление нестационарности Вселенной.

РЕГМАГЛИПТЫ (от греч. *rhegma* — трещина, царапина, рана и *glyptós* — вырезанный, изваянный) — мелкие углубления на поверхности метеоритов, возникающие при их быстром движении в атмосфере планеты.

РЕГОЛИТ (от греч. *rhegos* покрывало и *lithos* камень) — рыхлый материал, покрывающий поверхность небольших безатмосферных планет (Меркурий, Луна и т. п.) и астероидов. Это разнородный обломочно-пылевой материал, обломки которого представлены породами и минералами, стеклом, литифицированными брекчиями, фрагментами метеоритов. Насыщен инертными газами. Формируется под воздействием внешних факторов, в основном метеоритной бомбардировки, приводящей к дроблению, плавлению, испарению, перемешиванию и спеканию вещества. На Луне мощность реголита — от долей метра до десятков метров.

РЕГУЛ — α Льва, звезда 1,4 звёздной величины, удалённая от Солнца на 78 св. лет. Его светимость в 160 раз выше солнечной. У древних персов Регул слыл одной из четырёх «царских звезд»; другие три — Альдебаран (α Тельца), Антарес (α Скорпиона) и Фомальгаут (α Южной Рыбы). Иногда Регул называют «Сердцем Льва» (Cor Leonis).

РЕЗЕЦ — южное созвездие, введенное Н. Лакайем в 1756 г. Этот «инструмент гравера» представляет из себя маленькую, почти пустую область к юго-западу от Зайца. Это одно из самых невыразительных созвездий.

РЕКОМБИНАЦИЯ — процесс, обратный ионизации, т. е. захват ионом свободного электрона с последующим освобождением

энергии, как правило, в виде электромагнитного излучения.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — фоновое космическое радиоизлучение, которое образовалось на ранних стадиях развития Вселенной. Это электромагнитное излучение приходит к Земле с одинаковой интенсивностью со всех областей неба и имеет спектр, соответствующий тепловому излучению при температуре $2,725 \pm 0,002$ К. Поскольку источник реликтового излучения лежит дальше всех известных объектов, а максимум в спектре приходится на длину волны 1 мм, его называют также «космическим микроволновым фоновым излучением» (cosmic microwave background radiation, CMBR) или «космическим микроволновым фоном». Термин «реликтовое излучение» ввёл советский астрофизик И. С. Шкловский (1916–1985), поэтому он чаще используется в русскоязычной литературе.

Существование теплового излучения с температурой в несколько кельвинов было предсказано в 1946 г. Георгием Гамовым при разработке модели горячей Вселенной, а открыли его в 1965 г. радиоастрономы Арно Пензиас и Роберт Вилсон (США). Реликтовое излучение родилось около 14 млрд лет назад, когда Вселенная в целом была значительно плотнее и горячее, чем сейчас. Тогда это было оптическое излучение горячего газа с температурой в несколько тысяч кельвинов, практически однородно заполнявшего всю Вселенную. В ходе расширения Вселенной температура реликтового излучения уменьшилась примерно в 1000 раз.

Точные измерения показали, что температура реликтового излучения в разных точках неба не совсем одинакова. Заметнее всего проявляется дипольная составляющая, связанная с эффектом Доплера. Солнечная система движется так, что амплитуда дипольной составляющей температуры реликтового излучения $\Delta T = 3,35$ мК; это соответствует скорости движения $V = 366$ км/с. Двигается Солнце относительно излучения в направлении границы созвездий Льва и Чаша, к точке с экваториальными координатами $\alpha = 11^{\text{h}} 12^{\text{m}}$ и $\delta = -7,1^\circ$ (эпоха J2000,0); что соответствует галактическим координатам $l = 264,26^\circ$ и $b = 48,22^\circ$.

Учёт движения самого Солнца в Галактике показывает, что относительно всех галактик Местной группы Солнце движется со скоростью 316 ± 5 км/с в направлении $l = 93^\circ \pm 2^\circ$ и $b = -4^\circ \pm 2^\circ$. Поэтому движение самой Местной группы относительно реликтового излучения происходит со скоростью 635 км/с в направлении около $l = 269^\circ$ и $b = +29^\circ$ (т. е. $\alpha = 10^{\text{h}} 40^{\text{m}}$, $\delta = -25^\circ$; центр созвездия Гидры). Это примерно под углом 45° относительно направления на центр скопления галактик в Деве (Virgo).

Угловые флуктуации температуры реликтового излучения имеют также мелко-масштабную составляющую (1° – $0,1^\circ$) значительно меньшей амплитуды (30–80 мК), связанную с первичными акустическими волнами, заполнявшими однородную Вселенную до эпохи рекомбинации, т. е. до красного смещения $z = 1400$, соответствующего возрасту Вселенной $t = 380$ тыс. лет.

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ АСТРОФИЗИКА — раздел астрофизики, изучающий на основе общей теории относительности (теории тяготения А. Эйнштейна) свойства сверхплотных космических тел — нейтронных звёзд и чёрных дыр.

РЕНТГЕНОВСКАЯ АСТРОНОМИЯ — область астрономии, в которой природа космических объектов исследуется по их излучению в диапазоне энергии от 0,1 до нескольких сотен килоэлектронвольт (кэВ). В мягком рентгеновском диапазоне (0,1–2 кэВ) излучение заметно поглощается межзвёздным газом, но в более жёстком диапазоне (2–200 кэВ) поглощение несущественно.

Первые измерения космического рентгеновского излучения начались в США в 1949 г. с борта вертикально взлетающих баллистических ракет «Фау-2». Они позволили открыть рентгеновское излучение Солнца. В 1962 г. с борта геофизической ракеты «Аэроби» был открыт первый звёздный рентгеновский источник — Скорпион X-1. Но детальный обзор неба стал возможен только с борта орбитальных аппаратов.

Спутник НЕАО-2, известный как Обсерватория «Эйнштейн» (NASA, 1978), имел первый фокусирующий рентгеновский телескоп с зеркалами косого падения. Благодаря «Эйнштейну», получившему более 4000

изображений, рентгеновская астрономия стала зрелой наукой. Вслед за «Эйнштейном» летали европейский EXOSAT (1983), советский «Астрон» (1983), японский «Ginga» (1987) и др. Они наблюдали излучение в диапазоне от 0,1 до 10 кэВ. Для получения изображений в диапазоне от 10 до 1000 кэВ используют иной тип телескопов с так называемой кодированной маской. Один из наиболее удачных — французский прибор SIGMA, основной инструмент российской обсерватории «Гранат» (1989–1998), получивший изображения интереснейших источников, включая источник в центре Галактики, излучение которого вызвано аннигиляцией электронов и позитронов. В 2019 г. в точку Лагранжа L2 системы Солнце — Земля выведена российско-германская обсерватория «Спектр-РГ» («Спектр-Рентген-Гамма», CPG, SRG), осуществляющая полный обзор неба в диапазоне энергий 0,2–30 кэВ.

На начальном этапе исследований рентгеновским объектам присваивались наименования по созвездиям, в которых они находятся. Например, Геркулес X-1 означает первый по рентгеновской яркости объект в созвездии Геркулес; Кентавр X-3 — третий по яркости в созвездии Кентавр. Рентгеновский пульсар в Малом Магеллановом Облаке обозначается как SMC X-1, в Большом Магеллановом Облаке — LMC X-4. Обнаружение большого числа источников потребовало другой системы обозначений. Например, 4U 1900-40 соответствует обозначению рентгеновского пульсара Паруса X-1 в четвёртом каталоге спутника «Ухуру». Первые четыре цифры обозначают прямое восхождение ($19^{\text{h}} 00^{\text{m}}$), а вторые две вместе со знаком дают склонение объекта в градусах. Аналогичный смысл имеют цифры в обозначении источников, открытых спутником «Ариэль», например, A 0535+26. Обозначения типа GX 1+4 относятся к источникам в центральной области Галактики, причём цифры соответствуют галактическим координатам l и b (в данном случае $l = 1^\circ$, $b = +4^\circ$). Употребляются и другие обозначения. Так, открытый с борта советских АМС «Венера-11, -12» в эксперименте «Конус» вспыхивающий рентгеновский пульсар с периодом 8 секунд получил наименование FXP 0520-66.

РЕНТГЕНОВСКАЯ НОВАЯ — редкий тип вспыхивающих рентгеновских источников. В отличие от рентгеновских барстеров, рентгеновская новая внезапно появляется на несколько месяцев, а затем полностью исчезает. Исследования показали, что рентгеновские новые находятся в тесных двойных системах, в которых происходит аккреция газа с обычной звезды на массивный компактный объект, являющийся, по-видимому, чёрной дырой.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «ЧАНДРА» — автоматическая космическая обсерватория NASA с телескопом мягкого рентгеновского диапазона (0,1–10 кэВ). Этот составной телескоп с зеркалами косого падения диаметром 1,2 м имеет эффективную площадь $0,04 \text{ м}^2$ для квантов с энергией 1 кэВ. Фокусное расстояние телескопа 10 м, угловое разрешение $0,5''$, а чувствительность в 100 раз выше, чем у работавших до него рентгеновских телескопов.

Запуск телескопа на борту шаттла «Колумбия» (STS-93) состоялся 23 июля 1999 г. Спутник массой 4,8 т выведен на высокоапогейную орбиту (апогей 133 тыс. км, перигей 16 тыс. км) с орбитальным периодом 64,2 часа, чтобы большую часть времени он проводил за пределом радиационных поясов Земли. Первоначально работа аппарата планировалась на 5 лет, но в 2020 г. он ещё продолжает работать, оставаясь самым эффективным рентгеновским телескопом.

По результатам, полученным обсерваторией «Чандра», было показано, что практически все звёзды главной последовательности являются рентгеновскими источниками, что в остатках многих сверхновых присутствуют нейтронные звёзды, что рентгеновское излучение приходит из окрестности сверхмассивной чёрной дыры в центре Галактики (объект Стрелец A*). В галактике M82 была обнаружена чёрная дыра нового типа — промежуточной массы между сверхмассивными чёрными дырами в ядрах гигантских галактик и чёрными дырами звёздной массы. По рентгеновскому изображению двух столкнувшихся скоплений галактик было ограничено сверху сечение взаимодействия присутствующей в них тёмной материи, поскольку массы межга-

лактоического газа этих скоплений столкнулись и, нагревшись от этого, стали источником рентгеновского излучения (его зафиксировал «Чандра»), а скопления тёмной материи прошли друг сквозь друга практически без торможения и разошлись в разные стороны, обозначив себя эффектом гравитационного линзирования.

РЕНТГЕНОВСКИЙ ПУЛЬСАР — источник космического рентгеновского излучения, имеющего периодический характер, связанный с вращением компактного объекта вокруг своей оси. Считается, что эти объекты представляют собой вращающиеся нейтронные звёзды с сильным магнитным полем, излучающие за счёт аккреции, т. е. падения вещества на их поверхность. По этой причине их ещё называют «аккрецирующими пульсарами».

Индукция магнитного поля на поверхности рентгеновских пульсаров $\sim 10^{11}$ – 10^{14} Гс. Светимости большинства из них от 10^{28} до 10^{32} Вт. Периоды следования импульсов (P) от 0,7 секунды до нескольких десятков минут. Обнаружено уже несколько десятков рентгеновских пульсаров. Регистрируя сигналы рентгеновских пульсаров, космические аппараты могут определять свое положение в глубоком космосе, подобно тому, как это делается на Земле и в её окрестностях с помощью системы GPS.

Рентгеновские пульсары входят в тесные двойные звёздные системы, вторым компонентом которых является нормальная звезда, поставляющая вещество, необходимое для аккреции, обеспечивающей функционирование пульсара. Если второй компонент находится на стадии эволюции, когда скорость потери массы мала, нейтронная звезда не проявляет себя как рентгеновский пульсар.

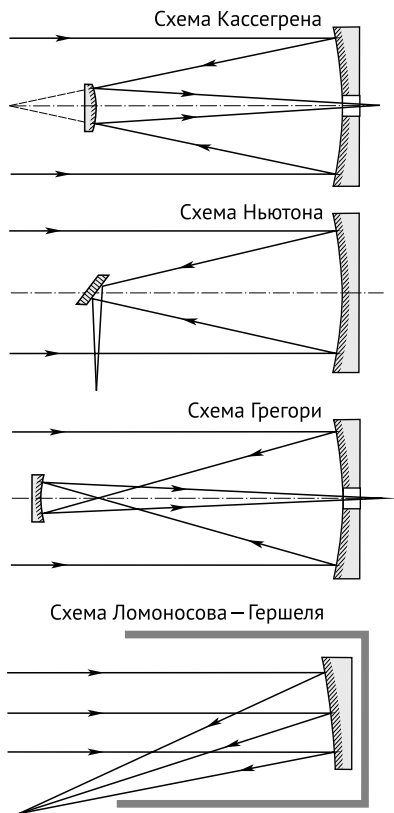
После открытия рентгеновского пульсара в его окрестности обычно быстро находят переменную оптическую звезду (второй компонент двойной системы), блеск которой меняется с периодом, равным орбитальному или вдвое меньшим (см. ниже). Кроме того, спектральные линии оптического компонента испытывают доплеровский сдвиг, периодически изменяющийся с орбитальным периодом двойной системы.

Оптическая переменность двойных систем с рентгеновским пульсаром обусловлена двумя эффектами. Первый — эффект отражения — наблюдается в системах, в которых светимость оптической звезды меньше светимости пульсара. Сторона звезды, обращённая к пульсару, прогревается его рентгеновским излучением и в оптических лучах оказывается ярче, чем противоположная сторона. Вращение двойной системы приводит к тому, что наблюдается то более яркая, то менее яркая сторона звезды.

Второй эффект — эффект эллипсоидальности — связан с тем, что форма звезды, заполняющей критическую полость Роша, заметно отличается от сферической. В результате два раза за орбитальный период к наблюдателю обращена большая часть поверхности, и дважды — меньшая. Такая переменность с периодом, вдвое меньшим орбитального периода двойной системы, наблюдается в тех системах, где светимость оптического компонента намного превышает рентгеновскую светимость пульсара.

В отличие от радиопулсаров, излучающих за счёт энергии вращения замagnetизированной нейтронной звезды и увеличивающих свой период со временем, рентгеновские пульсары, излучающие за счёт аккреции, ускоряют свое вращение. Действительно, при дисковой аккреции вещество, выпадающее на магнитосферу, имеет заметный удельный момент импульса. Вмораживаясь в магнитное поле, аккрецирующая плазма движется к поверхности звезды и передаёт ей свой момент. В результате вращение звезды ускоряется, и период следования импульсов уменьшается.

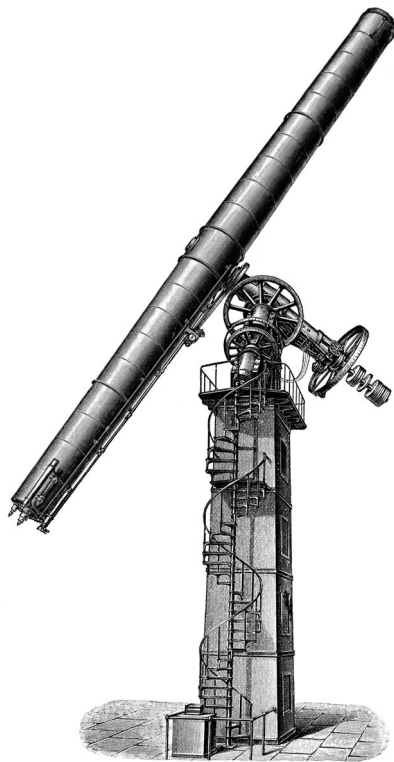
РЕФЛЕКТОР — телескоп, в котором в качестве объектива применяется вогнутое зеркало. Форма зеркала может быть сферическая, параболическая или гиперболическая в зависимости от конструкции телескопа. Кроме главного зеркала для создания изображения часто используется небольшое «вторичное» зеркало (выпуклое или вогнутое), размещённое вблизи фокуса главного зеркала, а также плоские зеркала, выводящие фокальную плоскость за пределы трубы телескопа. Крупнейшие в мире рефлек-



Основные типы телескопов-рефлекторов

торы имеют главные зеркала диаметром от 8,3 м (монокричное) до 11 м (сборное). У крупнейших рефлекторов объективы состоят из нескольких зеркал диаметром 8–9 м, укрепленных на одной монтировке.

РЕФРАКТОР — телескоп, в котором в качестве объектива применяется линза или система линз. Обычно объектив из одной линзы используют лишь в простых любительских телескопах или в специальных приборах, где требуется минимальное рассеяние света (например, в солнечном внезатменном коронографе). В большинстве телескопов-рефракторов используют сложные ахроматические объективы, содержащие несколько линз из разных сортов стекла; такая комбинация линз позволяет существенно снизить хроматическую абберацию объектива. Диаметр объектива телескопа-рефрактора ограничен размером порядка 1 м (40 дюймов), поскольку линза может быть закреплена только по краям, и линзы боль-



Крупнейший в мире телескоп-рефрактор Йеркской обсерватории (США) с объективом диаметром 40 дюймов и фокусным расстоянием 19 м (1897 г.)

шего диаметра прогибаются под собственным весом. Окуляры, применяемые в астрономических рефракторах, являются положительными, т. е. собирающими, линзовыми системами (телескоп Кеплера), поэтому рефракторы дают перевернутое изображение. Зрительные трубы и бинокли имеют дополнительную линзовую или призмennую оборачивающую систему для получения прямого (неперевернутого) изображения. В телескопе Галилея в качестве окуляра используется отрицательная линза, установленная до фокуса объектива, что также позволяет получить прямое изображение.

РИГЕЛЬ — β Ориона, звезда $0,13^m$, удаленная от Солнца на 800 св. лет. Бело-голубой сверхгигант со светимостью в 50 тыс. раз выше солнечной. Столь мощных звёзд в Галактике очень мало, а среди доступных невооруженному глазу — ещё лишь Денеб.

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ТЕЛЕСКОП, или **телескоп-робот** — телескоп, выполняющий

наблюдательную программу без прямого контроля человека. Роботизированные телескопы обычно работают под управлением компьютера по программе, заранее составленной наблюдателем. Нередко при этом телескоп-робот использует текущую информацию, переданную ему по интернету другими подобными телескопами.

РОЖДЕНИЕ ПАРЫ — одновременное рождение частицы и её античастицы (например, электрона и позитрона). Обычно рождение пары частица — античастица происходит при взаимодействии кванта жёсткого электромагнитного излучения с ядром атома. Схематически этот процесс можно представить так: $\gamma \rightarrow e^- + e^+$. При этом энергия фотона (γ) должна быть не меньше удвоенной энергии покоя электрона: $2m_e c^2 = 1,022$ МэВ. В вакууме постоянно происходит рождение виртуальных пар, но они тотчас аннигилируют (взаимно уничтожаются), поскольку для их реального рождения нет источника энергии. Предполагают, что виртуальные пары могут становиться реальными вблизи гравитационного радиуса чёрной дыры (эффект Хокинга).

Иногда термином «рождение пары» описывают процесс, при котором поглощение фотона в твёрдом теле приводит к появлению электрона проводимости и «дырки» — квантового состояния, не заполненного электроном в энергетической зоне твёрдого тела. Этот процесс служит основой работы многих типов детекторов, таких как фотодиоды и ПЗС-матрицы. Когда вещество, например, кремний, поглощает фотон, энергия фотона передается электрону и переводит его из валентной зоны в зону проводимости, оставляя в валентной зоне положительную квазичастицу — «дырку». Таким образом, рождается пара «электрон + дырка», которые в некотором смысле ведут себя как частица и античастица.

РЫБЫ — большое зодиакальное созвездие, которое условно делят на Северную Рыбу (под Андромедой) и Западную Рыбу (между Пегасом и Водолеем). В нашу эпоху именно в созвездии Рыбы лежит точка весеннего равноденствия, которую по традиции иногда называют Первой точкой Овна. Но в Овне она лежала 2000 лет назад, а через

600 лет войдёт в созвездие Водолея. Астеризм Венец — кольцо из семи звёзд в голове Западной Рыбы. В юго-восточном углу созвездия находится звезда Альриша (α Psc), по-арабски «верёвочка», интересная визуальная двойная. Её компоненты с блеском $4,2^m$ и $5,2^m$ разделены расстоянием в $2,5''$. В 2° к югу от звезды δ Psc находится Звезда Ван-Маанена — вероятно, ближайший к нам белый карлик, удалённый на 14 св. лет. Любопытна и спиральная галактика M74, крупнейшая из наблюдаемых плашмя (блеск $9,4^m$, угловой диаметр $10'$).

РЫСЬ — довольно крупное северное созвездие из очень тусклых звёзд: требуются «рысьи глаза», чтобы их увидеть. Среди них много двойных и кратных. Особенно интересна физическая двойная 10 UMa, компоненты которой имеют блеск 4^m и 6^m , разделены расстоянием около $0,5''$ и обращаются с периодом около 22 лет. Эта звезда перешла в Рысь из Большой Медведицы при уточнении границ созвездий, но сохранила традиционное обозначение. А звезду 41 Рыси (41 Lyn) мы обнаружим на территории Большой Медведицы. Это наглядно указывает на относительное перемещение звёзд и на условность границ созвездий.

С

САРОС (от егип. «повторение») — интервал времени, по прошествии которого повторяется цикл солнечных и лунных затмений. Длительность сароса составляет около $6585\frac{1}{3}$ суток, то есть около 18 лет и 11,3 суток или же 18 лет и 10,3 суток, если за это время было 5 високосных лет. В течение одного сароса в среднем происходит 71 затмение (от 64 до 78); обычно бывает 43 солнечных (от 39 до 48, из них около 10 полных) и 28 лунных (от 25 до 30). Поскольку сарос превышает целое число суток примерно на 8 часов, зона видимости соответствующего затмения в следующем саросе смещается по поверхности Земли на 120° к западу. По прошествии трёх саросов затмения наблюдаются вновь примерно в тех же местах Земли.

САТУРН — планета Солнечной системы, шестая от Солнца, удалённая от него на

1434 млн км = 9,58 а. е. Масса Сатурна $5,685 \cdot 10^{26}$ кг (95,2 массы Земли). Экваториальный радиус 60268 км (9,45 радиуса Земли). Средняя плотность 0,70 г/см³. Сатурн окружен ярким широким льдисто-пылевым кольцом и системой из 82 спутников (данные 2020 г.). Уникально крупный спутник Титан имеет плотную азотную атмосферу. Период вращения Сатурна вокруг оси 10,7 ч. Атмосфера состоит из водорода (94% объема) и гелия (6%). Температура верхнего облачного слоя составляет -176°C . Недра предположительно состоят из жидкого водорода, частично в металлическом состоянии. Глубоко в недрах возможно наличие твердого ядра.

СБЛИЖЕНИЕ (англ. *appulse*) — видимое прохождение одного небесного объекта (обычно — планеты) вблизи другого на небесной сфере.

СВЕРХНОВАЯ — грандиозный взрыв, который иногда демонстрируют массивные звезды в конце своей эволюции.

СВЕРХСКОПЛЕНИЕ ГАЛАКТИК — скопление скоплений галактик.

СВЕРХВСЕЛЕННАЯ (англ. *multiverse*) — совокупность отдельных вселенных, своего рода вселенная вселенных; гипотетическое обобщение, в котором наша Вселенная является лишь одной из огромного числа самостоятельных вселенных. Термин *multiverse* в английском языке родился недавно, поэтому его русский перевод ещё не устоялся. Предлагаются варианты — мультимир, многомир, мультивселенная, мультиленная, мультиверс, множественная вселенная, многоликая вселенная, метавселенная, Большая вселенная, Вся вселенная, Мультипланетная вселенная, Многоэлементная вселенная и др. Пока каждый автор и переводчик изобретает свой вариант и предпочтения не отдано ни одному. Составляющие сверхвселенную отдельные вселенные, одной из которых является наша Вселенная, иногда называют мини-вселенными.

СВЕРХГИГАНТЫ — самые яркие и самые большие из наблюдаемых звёзд. Различают голубые и красные сверхгиганты. Голубые (горячие) сверхгиганты — это молодые звезды главной последовательности; к ним относится, например, Регул в созвездии

Лев. Красные («холодные») сверхгиганты, напротив, — старые, сильно проэволюционировавшие звезды, располагающиеся на ветви сверхгигантов диаграммы Герцшпрунга — Рассела; к ним относится, например, Бетельгейзе в созвездии Орион. Радиусы старых сверхгигантов составляют от 100 до 1000 $R_\odot$.

СВЕРХМАССИВНЫЕ ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ — чёрные дыры с массами 10^5 – 10^{11} $M_\odot$. Обнаруживаются в центральных областях ядер крупных галактик.

СВЕРХНОВЫЕ — звёзды, блеск которых при вспышке в течение нескольких суток увеличивается на десятки звёздных величин (т. е. в миллионы и даже миллиарды раз), а затем постепенно спадает в течение нескольких месяцев или лет. Первоначально все звёзды, блеск которых внезапно увеличивался в сотни и более раз, называли «новыми» (*nova*), поскольку они появлялись в тех точках на небе, где ранее не было заметно звёзд. Но когда была установлена внегалактическая природа некоторых туманностей, названных позже галактиками, стало ясно, что вспыхивающие в них звёзды значительно превосходят обычные новые. Для них астрономы Фриц Цвикки (1898–1974) и Вальтер Бааде (1893–1960) предложили название «сверхновые звёзды» (*supernova*). Обычно к сверхновым относят вспышки с мощностью оптического излучения более 10^{34} Вт. Максимальная оптическая светимость, которой сверхновая достигает в ходе вспышки, лежит в интервале от -13^m до -22^m абсолютной звёздной величины, т. е. от 10 млн до 30 млрд светимостей Солнца. Существует класс сверхновых (тип Ia), имеющих в максимуме блеска почти одинаковую абсолютную звёздную величину $-19,4^m \pm 0,4^m$, что позволяет использовать каждую такую вспышку как «стандартную свечу» для определения расстояния до галактики, где вспышка наблюдается.

Наиболее известные сверхновые называют по именам описавших их вспышку астрономов (Сверхновая Тихо, Сверхновая Кеплера), по названиям созвездий, в которых они вспыхивали (Сверхновая Орла, Сверхновая Кассиопеи) или по году вспышки (Сверхновая 1054 г.). Яркие сверхновые, естествен-

но, вспыхивали в нашей Галактике. Некоторые из них были видны даже без телескопа. Сохранились исторические записи об их наблюдениях. Например, китайские астрономы описали вспышку сверхновой в созвездии Телец в 1054 г., а сейчас мы наблюдаем остаток этого взрыва — Крабовидную туманность. Последние вспышки сверхновых в нашей Галактике наблюдали незадолго до изобретения телескопа (Тихо Браге в 1572 г. и И. Кеплер в 1604 г.).

После изобретения телескопа стали обнаруживаться вспышки сверхновых и в других галактиках. Их обозначают по году вспышки: Сверхновая 1954В, Сверхновая 1987А, где буква в порядке латинского алфавита указывает очередность открытия сверхновой в данном году. В каталогах сверхновые обозначают буквами SN (от SuperNova), например SN 1972С — третья сверхновая 1972 г. Первые 26 сверхновых в каждом году обозначают заглавными буквами от А до Z. Следующие обозначаются парами строчных букв: aa, ab, и т. д. Например, последняя вспышка сверхновой, зарегистрированная в 2005 г., имела обозначение SN 2005nc, указывающее, что она была 367-й по счёту в том году.

До 1950 г. ежегодно обнаруживали единицы вспышек сверхновых, а с 1950 по 1990 г. — десятки. После середины 1990-х гг., когда стали широко использовать электронные приёмники света и компьютеры, ежегодно обнаруживаются сотни вспышек, причём открытия совершают не только профессиональные астрономы, но и любители. Например, было открыто 572 в 2007 г., около 3000 в 2015 г., более 15 000 в 2019 г. Все эти сверхновые обнаруживаются в других галактиках, но не в нашей. В некоторых галактиках их наблюдали неоднократно. Статистика показывает, что в крупной спиральной галактике (типа нашей) в среднем происходит 2–3 вспышки за столетие. Однако последняя вспышка в нашей Галактике наблюдалась в 1604 г. Правда, методами радио- и рентгеновской астрономии были обнаружены остатки вспышек, происходивших и в более позднее время, но в оптическом диапазоне спектра, т. е. визуально, они не были видны. Причина в том, что вспышки сверх-

новых в большинстве своём происходят в диске Галактики, и Солнце располагается в диске, где межзвёздное поглощение света очень велико.

Предпринятые в последние годы наблюдения в разных диапазонах спектра позволили выявить остатки вспышек сверхновых, не замеченные визуально. Так, ярчайший радиисточник на небе — Кассиопея А — оказался остатком вспышки сверхновой, которая должна была наблюдаться 330 лет назад, но не была замечена. Ещё более современный остаток связан с радиисточником G1.9+0.3 в Стрельце: эту вспышку мы должны были бы увидеть 140 лет назад, если бы место взрыва не находилось в районе центра Галактики, откуда оптическое излучение до Земли практически не доходит.

Причиной вспышки звезды как сверхновой служит её взрыв на заключительном этапе эволюции. В результате взрыва звезда почти полностью разрушается. Не исключено, что в некоторых случаях происходит полное разрушение, но достоверно установлено, что после взрывов некоторых сверхновых сохраняется остаток звезды, её сильно сжавшееся ядро — нейтронная звезда или чёрная дыра.

СВЕТИМОСТЬ (англ. *luminosity*) — мощность излучения небесного тела (или некоторой его части), т. е. количество энергии, излучаемой им за единицу времени. Измеряется в ваттах ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с} = 10^7 \text{ эрг/с}$). Например, светимость Солнца составляет $L_{\odot} = 3,85 \cdot 10^{26} \text{ Вт}$. Часто светимость других астрономических объектов выражают в единицах $L_{\odot}$. Самые маломассивные звезды имеют светимость порядка $10^{-4} L_{\odot}$, а самые массивные — порядка $10^5 L_{\odot}$. Квазары и активные ядра галактик имеют светимость, сопоставимую со светимостью крупной галактики (порядка $10^{11} L_{\odot} \approx 10^{38} \text{ Вт}$).

Говоря о светимости, обычно уточняют диапазон спектра (оптическая светимость, радиосветимость, и т. п.) или указывают, что речь идёт о суммарной мощности излучения во всех диапазонах (полная, или интегральная, или болометрическая светимость). Поток энергии, уносимый частицами, также часто называют светимостью, например, нейтринная светимость звезд.

СВЕТОВОЙ ГОД — внесистемная единица расстояния, равная пути, проходимому светом в вакууме, не испытывая влияния гравитационных полей, за один земной (юлианский) год; составляет $9,46 \cdot 10^{15}$ м, или 0,307 пк. Ранее световым годом называлось расстояние, проходимое светом за один тропический год, отнесенный к эпохе 1900,0. Новое определение отличается от старого примерно на 0,002%. Но поскольку данная единица расстояния не используется для высокоточных измерений, практического различия между старым и новым определениями нет. Световой год удобен для выражения межзвёздных и межгалактических расстояний. Например, расстояние от Солнца до ближайшей звезды Проксима в созвездии Кентавр составляет 4,2 светового года. Расстояние от Солнца до центра Галактики равно приблизительно 26 тыс. св. лет, а диаметр Галактики — более 100 тыс. св. лет. Расстояние до ближайшей крупной галактики (Туманность Андромеды) около 2,5 млн св. лет.

СВЕЧЕНИЕ АТМОСФЕРЫ — излучение атомов и молекул в атмосфере Земли. Одна из составляющих ночного фона неба. В ней можно выделить как постоянную часть, так и переменную (например, полярные сияния).

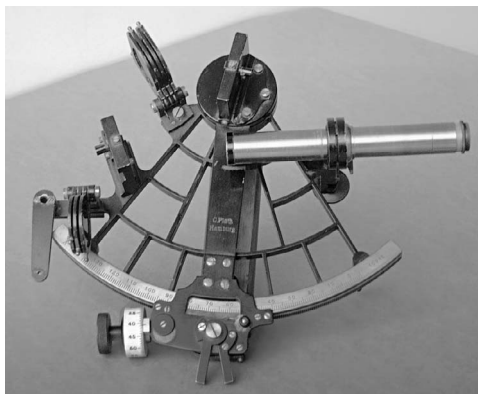
СВОБОДНО-СВОБОДНЫЙ ПЕРЕХОД — излучение, испускаемое (или, реже, поглощаемое) при пролёте свободного электрона вблизи иона. Происхождение названия связано с тем, что свободный электрон не захватывается, а лишь в поле иона переходит из одного свободного энергетического состояния в другое. Это излучение также называют «тормозным излучением», поскольку при излучении снижается скорость электрона.

СЕВЕРНАЯ КОРОНА — небольшое экваториальное созвездие, расположенное между Волопасом и Геркулесом. Многие считают его красивейшим из маленьких созвездий. В древности называлось просто Короной или Венцом. Семь сравнительно ярких его звёзд образуют незамкнутое кольцо; поэтому арабы называли эту группу звёзд аль-Факка, «разорванное». Ярчайшая звезда Северной Короны (α CrB) — Гемма или Альфекка. Это затменная двойная типа Алголя,

несильно изменяющая свой блеск вблизи $2,2^m$ с периодом 17,36 сут. Но Гемма сложнее Алголя: в её спектре видна вторая система линий, которая колеблется с периодом 2,8 сут. Возможно, это третий компонент. Неправильная переменная звезда R CrB почти всегда имеет блеск около 6^m , но иногда неожиданно тускнеет, опускаясь до 9^m , а то и до 14^m , и остаётся в таком состоянии от нескольких месяцев до десяти лет. У южной границы созвездия, рядом со звездой ϵ CrB, 12 мая 1866 г. вспыхнула новая, получившая обозначение T CrB. Её блеск достиг 2^m , и в течение недели она была видна невооружённым глазом, но через два месяца её блеск упал до 9^m . А 9 февраля 1946 г. она вспыхнула вновь, достигнув блеска 3^m . Такие звезды называют «повторными новыми». Она видна и в промежутках между вспышками как объект 11^m .

СЕЙФЕРТОВСКИЕ ГАЛАКТИКИ — тип спиральных галактик, имеющих активные ядра. Назван в честь американского астронома Карла Сейферта (1911–1960), впервые детально исследовавшего такие галактики в 1940–42 гг. на обсерватории Маунт Вилсон (США). Особенностью сейфертовских галактик является яркое и очень компактное (звездообразное) ядро с широкими линиями излучения в его спектре. Наличие этих линий указывает на присутствие в ядре большого количества горячего ($T \sim 10^4$ К) межзвёздного газа, движущегося с характерной скоростью в тысячи километров в секунду. К числу сейфертовских принадлежат около 1% спиральных галактик. Не исключено, что большинство спиральных галактик проводят 1% своей жизни в состоянии повышенной активности, то есть как сейфертовские галактики.

СЕКСТАНТ (секстан) — навигационный прибор, используемый для измерения высоты светила над горизонтом с целью определения географических координат той местности, в которой производится измерение. Например, измерив высоту Солнца в астрономический полдень, можно, зная дату измерения, вычислить широту местности. Строго говоря, секстант позволяет точно измерять угол между двумя направлениями. Зная высоту маяка (с карты), можно уз-



Морской секстант

нать расстояние до него, измерив угол между направлениями на основание маяка и на верхнюю часть и произведя несложный расчёт. Также можно измерять горизонтальный угол (т. е. в плоскости горизонта) между направлениями на разные объекты. Длина шкалы секстанта составляет $1/6$ от полного круга, или 60° , название секстанта происходит от латинского *sextans* — шестая часть. В секстанте используется принцип совмещения изображений двух объектов при помощи двойного отражения одного из них.

Секстант независимо изобрели в 1730 г. английский математик Джон Хадли и американский изобретатель Томас Годфри.

СЕКСТАНТ — экваториальное созвездие, весьма неприметное, расположено к югу от Льва и не содержит звёзд ярче 4,5 величины. Введено Яном Гевелием как Небесный Секстант в честь его любимого астрономического прибора, сгоревшего вместе с обсерваторией в 1679 г.

СЕКУНДА — единица времени, равная промежутку времени, за который происходит ровно 9 192 631 770 колебаний излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома ^{133}Cs (это единственный стабильный изотоп цезия) при отсутствии возмущений, вызванных внешними полями. Длительность этой атомной секунды подобрана так, чтобы средние солнечные сутки равнялись 86 400 с. Определённая так секунда служит одной из основных единиц Международной системы единиц (СИ). В астрономии секунда сначала определялась че-

рез длительность средних солнечных суток, а затем как $1/31556925,9747$ часть тропического года (на 1900 г.). Нынешнее определение «атомной» секунды было принято в 1967 г. Оно не связано с движением Земли, поэтому позволяет с высокой точностью исследовать само это движение.

СЕКУНДА (единица угла в астрономии) — кроме обычного употребления в качестве единицы времени, в астрономии секунды иногда используются и для измерения углов. При этом полной окружности ставится в соответствие количество часов в сутках ($360^\circ = 24^{\text{h}}$), тогда $1^{\text{h}} = 15^\circ$, $1^{\text{m}} = 15'$ и $1^{\text{s}} = 15''$. Это соответствие основано на видимом движении экваториальных небесных светил, составляющем $15''$ в течение 1 секунды звёздного времени.

СЕКУНДА (единица угла в геометрии) — $1/60$ доля минуты = $1/3600$ доля градуса = $1/1296000$ доля окружности. Обозначается как $1''$. Используется в астрономии под названием «секунда дуги» или «угловая секунда» во избежание путаницы с секундой времени.

СЕРИЯ БАЛЬМЕРА — см. *Линии Бальмера*.

СЕРИЯ ЛАЙМАНА — серия спектральных линий атома водорода, возникающих при его переходах между нижним (основным) энергетическим уровнем и всеми более высокими.

СЕРЕБРИСТЫЕ ОБЛАКА — светлые полупрозрачные облака, которые иногда видны летней ночью в средних и высоких широтах на фоне полярного сегмента неба (на севере в Северном полушарии и на юге в Южном). Серебристые облака называют также полярными мезосферными облаками (polar mesospheric clouds, PMC) или ночными светящимися облаками (noctilucent clouds, NLC). Именно последнее название, наиболее точно отвечающее их внешнему виду и условиям их наблюдения, принято как стандартное в международной практике. Это самые высокие облачные образования в земной атмосфере: они образуются у верхней границы мезосферы и видны ночью, потому что освещаются Солнцем из-под горизонта. Центрами конденсации влаги при этом, вероятно, служат частицы метеоритной пыли. Днём даже на фоне чистого голубого неба



Серебристые облака над Москвой 21 июля 2006 г. через час после полуночи. Фото В. Г. Сурдина

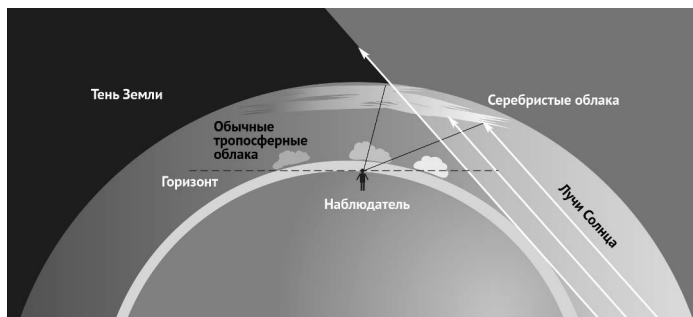
эти облака не видны. Лишь глубокие сумерки и ночная тьма делают их заметными для наземного наблюдателя.

Наблюдать серебристые облака можно лишь в летние месяцы: в Северном полушарии, как правило, с середины июня до середины июля и лишь на географических широтах от 45° до 70° , причём в большинстве случаев от 55° до 65° (здесь находятся многие крупные города России: Москва, Екатеринбург, Ижевск, Казань, Красноярск, Нижний Новгород, Новосибирск, Челябинск и др. и лишь несколько городов Северной Европы и Канады); в Южном полушарии — в конце декабря и в январе на широтах от 40° до 65° . В это время года и на этих широтах Солнце даже в полночь опускается под горизонт не очень глубоко, и его скользящие лучи освещают стратосферу, где появляются серебристые облака. Как правило, в они видны невысоко над горизонтом, на высоте от 3° до 15° . При внимательном наблюдении их замечают ежегодно, но высокой яркости они достигают далеко не каждый год. В силу географических особенностей этого явления оно изучается в основном в Северной Европе, России и Канаде. Этой работой си-

стематически занимается несколько групп исследователей во всем мире. Не только учёные, но и квалифицированные любители науки вносят в неё весьма значительный вклад.

Для геофизики серебристые облака весьма интересны, поскольку рождаются в области температурного минимума, где атмосфера охлаждена до -70°C , а иногда и до -100°C . Высоты от 50 до 150 км исследованы слабо, так как самолёты и аэростаты подняться туда не могут, а искусственные спутники Земли не могут надолго туда опуститься. Поэтому до сих пор нет надёжных данных об условиях на этих высотах и о природе серебристых облаков, которые, в отличие от низких тропосферных облаков, находятся в зоне активного взаимодействия атмосферы Земли с космическим пространством.

Серебристые облака — важный источник данных о ветрах на больших высотах и о волновых движениях в мезопаузе, что существенно дополняет данные, получаемые методами радиолокации метеорных следов, ракетного и лазерного зондирования. Обширные площади и значительное время су-



Серебристые облака. Схема прохождения солнечных лучей из-под горизонта к верхним слоям мезосферы

ществования облачных полей даёт уникальную возможность для прямого определения параметров атмосферных волн различного типа и их временной эволюции.

С поверхности Земли серебристые облака могут наблюдаться только в период глубоких сумерек, на фоне почти чёрного неба и при отсутствии более низких, тропосферных облаков. Необходимо отличать сумеречное небо от зоревоего неба. Зори наблюдаются в период ранних гражданских сумерек, когда центр солнечного диска опускается под горизонт наблюдателя на глубину от 0° до 6° . Солнечные лучи при этом освещают всю толщу слоёв нижней атмосферы и нижнюю кромку тропосферных облаков. Заря характерна богатым разнообразием ярких красок. Во вторую половину гражданских сумерек (глубина Солнца от 3° до 6°) западная часть небосвода имеет ещё довольно яркое зоровое освещение, но в соседних участках небо уже приобретает глубокие тёмно-синие и сине-зелёные оттенки. Область наибольшей яркости неба в этот период называют сумеречным сегментом.

Наиболее благоприятные условия для обнаружения серебристых облаков создаются в период навигационных сумерек, при погружении Солнца под горизонт на 6° – 12° (в конце июня в средних широтах это бывает часа за 1,5–2 до истинной полночи). В это время земная тень закрывает нижние, наиболее плотные, запылённые слои атмосферы, и освещаются только разреженные слои начиная с мезосферы. Рассеянный в мезосфере солнечный свет образует слабое сияние сумеречного неба, и на этом фоне легко обнаруживается свечение серебристых облаков. Различные наблюдатели определяют их цвет как жемчужно-серебристый с голубоватым отливом или бело-голубой.

Несмотря на то, что скорость ветра в стратосфере составляет 100–300 м/с, большая высота серебристых облаков делает их почти неподвижными в поле зрения телескопа или фотокамеры. Поэтому первые фотографии этих облаков были получены О. Иессе ещё в 1887 г.

Диапазон высот, на которых образуются серебристые облака, вообще весьма стабилен (73–95 км), но в некоторые годы он су-

жается до 81–85 км, а иногда расширяется до 60–118 км. Часто облачное поле состоит из нескольких довольно узких по высоте слоёв. Основной причиной свечения облаков служит рассеяние ими солнечного света, но не исключено, что некоторую роль играет и эффект люминесценции под действием ультрафиолетовых лучей Солнца.

Прозрачность серебристых облаков чрезвычайно высока: обычное облачное поле задерживает всего около 0,001% проходящего сквозь него света (ночью сквозь эти облака хорошо видны звёзды). Именно характер рассеяния солнечного света серебристыми облаками позволил установить, что они представляют собой скопления частиц размером 0,1–0,7 мкм. О природе этих частиц высказывались разные гипотезы: предполагалось, что это ледяные кристаллы, мелкие частицы вулканической пыли, кристаллы хлорида натрия в ледяной «шубе», космическая пыль, частицы метеорного или кометного происхождения.

Яркие серебристые облака, впервые наблюдавшиеся в 1885–1892 гг. и, по-видимому, не замечавшиеся до этого, наводили на мысль, что их появление связано с мощным катастрофическим процессом. Таким явлением было извержение вулкана Кракатау в Индонезии 27 августа 1883 г. По сути, это был колоссальный взрыв с энергией, равной взрыву двадцати водородных бомб (20 Мт ТНТ). В атмосферу было выброшено около 35 млн т вулканической пыли, поднявшейся на высоту до 30 км, и огромная масса водяного пара. После взрыва Кракатау были замечены оптические аномалии: светлые зори, уменьшение прозрачности атмосферы, поляризационные аномалии, кольцо Бишопы (коричнево-красный венец вокруг Солнца с внешним угловым радиусом около 22° и шириной 10° ; небо внутри кольца светлое с голубоватым оттенком). Эти аномалии продолжались около двух лет, постепенно ослабевая, и серебристые облака появились лишь к концу этого срока.

Гипотезу о вулканической природе серебристых облаков первым высказал немецкий исследователь В. Кольрауш в 1887 г.; он считал их сконденсировавшимися парами воды, выброшенными при извержении.

О. Иессе в 1888–1890 гг. развил эту идею, полагая, что это не вода, а какой-то неизвестный газ (возможно, водород), выброшенный вулканом и замерзший в виде мелких кристаллов. Высказывались мнения, что вулканическая пыль также играет роль в формировании серебристых облаков, поскольку служит центрами кристаллизации водяного пара. Но наблюдательные данные свидетельствовали не в пользу вулканической гипотезы. Анализ световых аномалий после крупнейших вулканических извержений (Мон-Пеле, 1902; Катмаи, 1912; Кордильеры, 1932) показал, что они лишь изредка сопровождались появлением серебристых облаков; скорее всего это были случайные совпадения. В наши дни вулканическая гипотеза имеет лишь историческое значение.

Возникновение метеорной гипотезы происхождения серебристых облаков было связано с Тунгусской катастрофой 30 июня 1908 г. С точки зрения наблюдателей, среди которых были весьма опытные астрономы и метеорологи, это явление проявило себя главным образом различными оптическими аномалиями, наблюдавшимися во многих европейских государствах, в европейской части России и Западной Сибири, вплоть до Красноярска. Наряду со светлыми зорями и белыми ночами, наступившими там, где их обычно даже в конце июня не бывает, многие наблюдатели отметили появление серебристых облаков. В 1908 г. никто из очевидцев оптических аномалий и светящихся облаков не знал о Тунгусском метеорите. Сведения о нём появились в печати значительно позже. В 1926 г. мысль о связи между этими двумя явлениями была независимо высказана первым исследователем места Тунгусской катастрофы Л. А. Куликом и метеорологом Л. Апостоловым. Леонид Алексеевич Кулик считал, что не только крупные метеориты, но и обычные метеоры, полностью разрушающиеся как раз на высотах 80–100 км, поставляют в мезосферу продукты своей возгонки, которые конденсируются затем в частицы тончайшей пыли, формирующей облака.

В 1930 г. американский астроном Х. Шепли, а в 1934 г. независимо от него английский метеоролог Ф. Дж. Уиппл высказали гипотезу,

что Тунгусский метеорит был ядром небольшой кометы с пылевым хвостом. Проникновение вещества хвоста в земную атмосферу привело, по их мнению, к возникновению оптических аномалий и к появлению серебристых облаков. Впрочем, предположение о том, что причиной оптических аномалий 1908 г. было прохождение Земли сквозь облако космической пыли, высказал ещё в 1908 г. один из очевидцев светлых ночей того периода Ф. де Руа, конечно, ничего не знавший о Тунгусском метеорите.

Впоследствии метеорную гипотезу поддерживали и развивали многие астрономы, стремясь объяснить с её помощью особенности серебристых облаков — их морфологию, широтное и временное распределение, оптические свойства и т. п. Однако эта гипотеза в её чистом виде с задачей не справилась, и с 1960 г. её развитие практически прекратилось. Но роль метеорных частиц как ядер конденсации и роста кристаллов льда, составляющих серебристые облака, до сих пор остаётся бесспорной.

Сама по себе конденсационная (ледяная) гипотеза развивалась независимо с 1917 г., но долгое время не имела достаточных экспериментальных оснований. В 1925 г. немецкий геофизик А. Вегенер на основе этой гипотезы рассчитал, что для конденсации пара в ледяные кристаллы на высоте 80 км температура воздуха должна быть около $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$; как выяснилось в ходе ракетных экспериментов спустя 30 лет, Вегенер оказался недалёк от истины. Начиная с 1950 г. в работах В. А. Бронштэна, И. А. Хвостикова и др. была развита метеорно-конденсационная гипотеза серебристых облаков; в ней метеорные частицы играют роль ядер конденсации, без которых конденсация капель и кристаллов из пара маловероятна. Эта гипотеза опирается на результаты ракетных экспериментов, в ходе которых на высотах 80–100 км были собраны микроскопические твёрдые частицы с намерзшей на них ледяной «шубой»; при запуске ракет в зону наблюдавшихся серебристых облаков количество таких частиц оказывалось в сотню раз больше, чем в отсутствие облаков.

Впрочем, надёжной теории серебристых облаков, дающей возможность прогнозиро-

вать и даже управлять этим явлением, до сих пор нет. Многие факты в этой области неполны и противоречивы. Серебристые облака продолжают оставаться волнующей проблемой для естествоиспытателей.

СЕТКА — маленькое южное созвездие. Вводя его, Н. Лакайль имел в виду шкалу, нанесенную на прозрачном материале или изготовленную в виде сетки паутинных нитей, которую используют в оптических измерительных инструментах. Первоначально созвездие так и называлось — Ромбоидальная Сетка. Его ярчайшие звезды действительно образуют ромбик. Для наблюдения в бинокль представляет интерес система α Ret, лежащая на границе с созвездием Часы. Это две звезды 5 звёздной величины, разделенные углом 5'. Обе они имеют спектральный класс G2V и как две капли воды похожи на наше Солнце.

СЖАТИЕ ПЛАНЕТЫ — см. *Сплюснутость планеты*.

СИДЕРИЧЕСКИЙ ПЕРИОД — период обращения тела по орбите или его вращения вокруг собственной оси, определённый в невращающейся системе координат, то есть относительно звёзд (лат. *sidus*, род. п. *sideris*, — звезда, небесное светило). Иными словами, сидерический период — это время, которое затрачивает планета на один орбитальный (или суточный) оборот, начиная и заканчивая его на линии, проведенной из центра Солнца в фиксированном направлении на небесной сфере.

СИМБИОТИЧЕСКАЯ ЗВЕЗДА — физическая двойная звезда, в спектре которой содержатся молекулярные полосы поглощения (как правило, полосы молекулы TiO), а также эмиссионные линии ионизованных элементов, такие как He II 4686 Å и [O III] 5007 Å. Такой спектр не может принадлежать одному источнику с определённой температурой, поскольку существование молекул возможно лишь при относительно невысокой температуре (иначе происходит диссоциация, разрушение молекул), а для ионизации атомов (особенно гелия) требуется очень высокая температура. Поэтому подобные спектры называют синтетическими.

Компонентами симбиотической двойной звезды являются красный гигант и ма-

ленькая горячая звезда, например, белый карлик. При этом обе они окружены туманностью. Вероятно, симбиотические звезды служат предшественниками планетарных туманностей. В ходе эволюции такой системы, по мере перетекания вещества из атмосферы красного гиганта на поверхность белого карлика, его масса в некоторых случаях может превысить критическую (см. *Предел Чандрасекара*), что может привести к взрыву сверхновой типа Ia. Эти мощнейшие взрывы видны с очень больших расстояний и служат «стандартными свечами» при изучении структуры Вселенной.

Спектры симбиотических звёзд дают основания полагать, что существуют три области излучения: две звезды, входящие в систему, и окружающая их туманность. Считается, что туманность порождена красным гигантом, который в результате звёздного ветра или пульсаций быстро теряет массу. Симбиотическая фаза приходится на позднюю стадию эволюции и составляет короткий промежуток жизни двойной звезды. Из-за непродолжительности этой фазы симбиотические звезды встречаются очень редко: астрономам их известно всего несколько сотен. Одной из ближайших звёзд этого типа является CN Лебеда (CN Cyg). Большинство симбиотических звёзд обнаружено в нашей Галактике, но несколько таких объектов найдено в Магеллановых Облаках и в карликовой галактике в созвездии Дракон.

СИНГУЛЯРНОСТЬ — место, где кривизна пространства-времени обращается в бесконечность (например, в центре чёрной дыры).

СИНОДИЧЕСКИЙ ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ (греч. *synodos* соединение) — время, которое затрачивает планета на один орбитальный оборот, начиная и заканчивая его на линии, проведенной от центра Земли к центру Солнца. То есть это период обращения небесного тела по орбите, определённый с позиции земного наблюдателя. Из-за движения Земли по орбите он не совпадает с сидерическим периодом обращения. Синодический период обращения планеты вокруг Солнца равен времени между её двумя последовательными одноименными конфигурациями, например, нижними соединениями. Таким образом, синодический период

обращения планеты совпадает с периодом изменения её фаз. Для движения по круговым орбитам можно получить связь между синодическим (S) и сидерическим (T) периодами обращения планеты: для нижних планет $1/S = 1/T - 1/T_0$, для верхних планет $1/S = 1/T_0 - 1/T$, где T_0 – сидерический период Земли, т. е. 1 звёздный год.

Иногда говорят и о синодическом периоде вращения тела, т. е. о периоде его вращения вокруг оси относительно направления на Землю. Так, синодический период вращения экваториальных слоёв Солнца составляет 26,8 суток, а сидерический – 25,4 сут.

СИНХРОТРОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ – электромагнитное излучение, возникающее при движении в магнитном поле быстрых заряженных частиц (в космосе преимущественно электронов), имеющих околосветовую, релятивистскую скорость. Впервые наблюдалось в ускорителях электронов – синхротронах, отсюда и название. Космическое синхротронное излучение связано с движением электронов космических лучей в межзвёздных полях в нашей Галактике и других галактиках. Источниками синхротронного излучения являются многие астрономические объекты: остатки сверхновых, пульсары, ядра галактик, квазары. Обычно синхротронное излучение попадает в радиодиапазон, но в некоторых случаях (например, у пульсара в центре Крабовидной туманности) оптическое и даже рентгеновское излучение также имеет синхротронную природу.

СИРИУС – α Большого Пса, звезда –1,46 визуальной звёздной величины, одна из ближайших звёзд, удалённая от Солнца всего на 8,6 светового года. В этом причина того, что Сириус – ярчайшая звезда на небе. В 1862 г. при испытании нового телескопа американский оптик Алван Кларк (1804–1887) открыл у Сириуса чрезвычайно тусклый, но довольно массивный спутник – первый белый карлик.

СИСТЕМА МИРА КОПЕРНИКА – см. *Гелиоцентрическая система мира*.

СИСТЕМА МИРА ПТОЛЕМЕЯ – см. *Геоцентрическая система мира*.

СИСТЕМЫ НЕБЕСНЫХ КООРДИНАТ – двумерные системы координат на небесной

сфере. См. *Горизонтальная система координат, Экваториальная система координат, Эклиптическая система координат, Галактическая система координат*.

СКЛОНЕНИЕ – одна из координат светила в экваториальной системе небесных координат, равная его угловому расстоянию от небесного экватора к северу (со знаком «+») или к югу (со знаком «–»). Обозначается греческой буквой δ или сокращённо Dec. (от англ. *declination*). Склонение точек самого небесного экватора равно нулю.

СКОПЛЕНИЕ – группа звёзд или галактик, составляющая устойчивую систему вследствие взаимного гравитационного притяжения её членов. Среди скоплений звёзд различают шаровые и рассеянные; среди скоплений галактик – правильные и неправильные. Рассеянные звёздные скопления и неправильные скопления галактик обычно содержат не более 1000 объектов, слабо концентрирующихся к центру скопления. Шаровые звёздные скопления и правильные скопления галактик имеют сферическую форму и часто содержат более 10 000 объектов, которые сильно концентрируются к центру скопления, образуя плотное ядро.

Замечание о терминах. В английском языке скопление галактик определяется термином «galactic cluster». Убедительная просьба к журналистам и физикам: не переводить этот термин на русский язык как «галактическое скопление» или «галактический кластер». Дело в том, что «галактическое скопление» – это устаревшее название для рассеянных звёздных скоплений, населяющих диск нашей Галактики. Этот термин уже почти не употребляют, но в старых книгах он есть, поэтому не нужно придавать ему иной смысл. Что же касается «галактических кластеров», то такого термина в отечественной астрономии вообще не существует, и не стоит вводить его, чтобы не засорять язык. Galactic cluster – это скопление галактик. Так говорят астрономы. И хотя, чтобы так же говорили специалисты иных профессий, интересующиеся астрономией. Тогда мы будем лучше понимать друг друга.

СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК – гравитационно-связанные системы галактик, в которых

число членов измеряется десятками, сотнями, а иногда и тысячами (богатые скопления галактик). Наблюдения показывают, что галактики распределены в пространстве неоднородно, значительная их часть группируется в скопления. Характерный размер скоплений галактик — несколько мегапарсеков. Ближайшее к нам крупное скопление Virgo, насчитывающее около 2000 галактик, удалено от нас на 16,5 Мпк в направлении созвездия Дева и занимает на небе область диаметром около 10° .

Средняя лучевая скорость галактик в скоплении соответствует скорости удаления от нас скопления как целого. Используя Хаббла закон, можно оценить расстояние до скопления. Обычно предполагают, что распределение галактик по скоростям в системе покоя скопления как целого изотропно, тогда легко вычислить среднеквадратичное отличие скорости от средней (σ_v). В богатых скоплениях σ_v превышает 1000 км/с. Характерный размер богатых скоплений R составляет несколько Мпк. Характерное время пролета галактики через скопление $t \sim R/\sigma_v = 10^9(R/1 \text{ Мпк})/(\sigma_v/10^3 \text{ км/с})$ лет, много меньше как космологического времени ($H_0^{-1} \approx 10^{10}$ лет), так и возраста звёзд, входящих в галактики скопления. Следовательно, скопления галактик являются гравитационно-связанными системами. Таким образом, измерения σ_v и характерного размера скопления позволяют определить его массу M_v по теореме вириала: $M_v \sim \sigma_v^2 R/G$. Оказывается, что определяемые так массы заметно превышают значения «видимой массы», определяемой суммированием масс отдельных галактик, которые оцениваются по зависимости масса — светимость. В результате возникает вопрос о скрытой массе.

Среди каталогов скоплений галактик наиболее известен каталог Дж. Абеля. Согласно Абелю, по структуре скопления можно разделить на правильные и неправильные. Первые симметричны и характеризуются сильной концентрацией галактик к центру скопления. Типичный представитель этого типа — скопление Coma (Волосы Вероники), находящееся на расстоянии около 90 Мпк и содержащее более 30 тыс. галактик с абсолютной звёздной величиной

ярче -16^m . В плотных центральных частях правильных скоплений большинство галактик эллиптические. Неправильные скопления представляют собой более диффузные и асимметричные конгломераты галактик. Неправильным является ближайшее к нам богатое скопление в созвездии Дева (Virgo). В неправильных скоплениях много спиральных галактик.

В центре богатых скоплений обычно находится массивная эллиптическая галактика, содержащая от 1 до 10% всей массы скопления. Например, масса галактики M87 в центре скопления в Деве превышает $10^{13} M_\odot$. Эти галактики часто являются мощными радиогалактиками. Их гравитационный потенциал (в пределах галактики) сравним с гравитационным потенциалом всего скопления. Массы таких галактик растут за счёт «каннибализма» — поглощения пролетающих сквозь них или разрушаемых приливным воздействием при близких пролетах галактик меньшей массы.

Практически все богатые скопления галактик являются мощными источниками рентгеновского излучения со светимостями $\sim 10^{35} - 10^{37}$ Вт. По-видимому, это тормозное и рекомбинационное излучение горячего межгалактического газа с плотностью не менее 10^{-3} см^{-3} и температурой $3 \cdot 10^7$ К. Важным подтверждением такой интерпретации стало обнаружение в спектрах скоплений в Деве, Кентавре и скоплении Coma рентгеновских линий железа с $h\nu \approx 6-7$ кэВ. Линии излучаются водородо- и гелиеподобными ионами железа, т. е. ионами, имеющими ядро с зарядом 26 и один или два электрона. Именно эти линии характерны для горячей оптически тонкой плазмы с электронной температурой $T_e \approx (3-10) \cdot 10^7$ К. Наблюдаемая эквивалентная ширина спектральных линий $\approx 0,5$ кэВ, что свидетельствует об обилии железа, близком к солнечному.

Время радиационного охлаждения газа превышает космологическое. Время охлаждения газа из-за комптонизации реликтового излучения при малых красных смещениях, $z < 5-8$, также намного превышает космологическое. Радиационное охлаждение может быть заметным лишь в центральных областях скоплений. Тщательные исследова-

ния центральных областей богатых скоплений выявили те, где газ успевает охлаждаться за время меньше космологического и стекается к центру, формируя «течение охлаждения». Охлаждающийся газ поступает в центральную доминирующую галактику в темпе до $100 M_{\odot}$ в год, подпитывая процесс звездообразования в ней и снабжая веществом её ядро, что может приводить к усилению активности ядра.

Масса межгалактического газа составляет около 10% вириальной массы скопления галактик, т. е. его обнаружение не привело к решению проблемы скрытой массы. Масса газа, вероятно, того же порядка, что и «видимая» масса галактик. Этот факт позволяет предположить, что газ образовался в результате потери массы галактиками. С другой стороны, межгалактический газ может быть догалактическим газом, разогретым ударной волной при сжатии протоскопления.

Химический состав межгалактического газа в скоплениях близок к солнечному и сильно отличается от первичного (дозвёздного). Модель горячей Вселенной предсказывает 25% обилия (по массе) гелия, 75% водорода и отсутствие более тяжёлых элементов. Эти данные можно согласовать с моделью разогрева при сжатии протоскопления, лишь предполагая, что: а) газ был впоследствии обогащён тяжёлыми элементами — продуктами нуклеосинтеза в звездах галактик; б) ещё до образования скоплений галактик первые (догалактические) звезды обогатили первичное вещество тяжёлыми элементами. Пока неясно, какое из предположений верно. В связи с вариантом а) отметим, что межзвёздный газ может выметаться из галактик, движущихся со скоростями 1000 км/с , динамическим давлением межгалактического газа. Поэтому звёздный ветер, газ из планетарных туманностей и сверхновых непрерывно поступает в межгалактическую среду и обогащает её тяжёлыми элементами. Этот вариант требует, чтобы масса вторичного вещества (истекшего из галактик) была того же порядка, что и масса первичного, разогретого ударной волной.

Механизмов нагрева газа, попавшего в пространство между галактиками, много:

диссипация энергии звуковых волн и ударных волн, возникающих при движении галактик, выбросы облаков релятивистских частиц из ядер галактик, потери энергии субкосмических лучей (энергия меньше 1 ГэВ) и плазменных волн и т. п.

Вселенную заполняет микроволновое фоновое («реликтовое») излучение. В каждом кубическом сантиметре пространства находится около 500 фотонов. Это излучение имеет спектр, близкий к спектру излучения абсолютно чёрного тела с температурой $T_r \approx 3 \text{ К}$. Микроволновой фон характеризуется высочайшей степенью изотропии во всех угловых масштабах, $\Delta T_r/T_r < 10^{-3}$. Это обстоятельство позволяет искать в направлениях на скопления галактик малые отклонения интенсивности фона от среднего её значения. Как показали в 1972 г. Я. Б. Зельдович и Р. А. Сюняев, наличие горячего газа в скоплениях изменяет интенсивность микроволнового фона в направлениях на них: в результате обратного эффекта Комптона «холодные» реликтовые фотоны, рассеиваясь на горячих электронах межгалактического газа, увеличивают свою энергию и переходят в более высокочастотную область спектра. В результате в сантиметровой области спектра яркость реликтового излучения уменьшается, а в субмиллиметровой возрастает (эффект Зельдовича — Сюняева).

СКОРОСТЬ КРУГОВАЯ — см. *Космические скорости*.

СКОРОСТЬ ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ — см. *Космические скорости*.

СКОРОСТЬ ПО ЛУЧУ ЗРЕНИЯ — то же, что *Лучевая скорость*.

СКОРОСТЬ СВЕТА — фундаментальная константа $c = 299\,792\,458 \text{ м/с}$, равная скорости распространения электромагнитных волн в вакууме, постоянство которой во всех инерциальных системах отсчёта используется в качестве постулата в специальной (частной) теории относительности. Значение константы с принимается точным, и через него определяется единица длины — метр.

Скорость света определяет предельную скорость, с которой может передаваться физическое взаимодействие. Объединение принципа относительности с конечностью скорости распространения физических вза-

имедействий привело к созданию А. Эйнштейном в 1905 г. специальной (частной) теории относительности (СТО). Согласно этой теории, тело, обладающее массой покоя $m_0 \neq 0$, не может двигаться со скоростью $v \geq c$.

СКОРОСТЬ УБЕГАНИЯ, или **ускользания**, — см. *Космические скорости*.

СКОРПИОН — зодиакальное созвездие. Его граница с соседним созвездием Змееносец пролегла так, что Солнце в конце ноября проходит через Скорпион менее чем за неделю, а затем почти три недели движется через незодиакальное созвездие Змееносец. Скорпион целиком лежит в Млечном Пути. Множество ярких звёзд обрисовывают «голову», «тело» и «хвост» скорпиона. Согласно Арату, Орион повздорил с Артемидой; разгневанная, она послала скорпиона, который убил юношу. Арат добавляет астрономическую часть к этому мифу: «Когда Скорпион поднимается на востоке, Орион спешит скрыться на западе».

Ярчайшая звезда (α Sco) — Антарес (греч. «соперник Ареса», т. е. Марса), расположена в «сердце скорпиона». Это красный сверхгигант с незначительной переменностью блеска (от $0,9^m$ до $1,2^m$); по яркости и цвету эта звезда действительно очень похожа на Марс и лежит вблизи эклиптики, так что перепутать их легко. Диаметр Антареса в 700 раз больше, чем Солнца, а светимость больше солнечной в 9000 раз. Это визуальная двойная: более яркий её компонент кроваво-красный, а его менее яркий сосед (5^m), удалённый всего на $3''$, голубовато-белый, но по контрасту с компаньоном он выглядит зелёным — очень красивое сочетание.

Звезду Акраб (β Sco) греки называли Рафиас, что значит «краб»; это яркая двойная ($2,6^m$ и $4,9^m$), которую можно разрешить в скромный телескоп. На кончике «хвоста скорпиона» находится Шаула (λ Sco), в переводе с арабского «жало». В Скорпione расположен самый мощный рентгеновский источник звёздного неба — Sco X-1, отождествлённый с горячей голубой переменной звездой; считают, что это тесная двойная система, где в паре с нормальной находится нейтронная звезда. Для любителей астрономии представляет интерес повторная новая U Sco, вспышки которой наблюдались

в 1863, 1906, 1936, 1979, 1987, 1999 и 2010 гг. Вспышка длится всего несколько дней, но блеск звезды поднимается от $17,6^m$ до $7,5^m$. Следующая вспышка ожидается в 2020 ± 2 г.

СКРЫТАЯ МАССА ГАЛАКТИКИ — та часть массы галактики, которая проявляет себя лишь эффектами гравитации и никак иначе. Носитель этой массы часто называют «тёмным веществом» или «тёмной материей», поскольку это вещество не излучает ни в одном диапазоне электромагнитного спектра, а также и не поглощает излучение.

Некоторых обитателей нашей Галактики астрономы обнаруживают легко. Молодые массивные звёзды светятся ярко и без труда видны в телескоп. Легко различимы и газовые облака, если рядом с ними расположены яркие звёзды, которые нагревают и освещают их своим излучением. Если же облако удалено от ярких звёзд, то заметить его в оптический телескоп значительно труднее, но зато ему не спрятаться от радиотелескопа. Однако не всех жителей Галактики удастся легко обнаружить.

Маленькие тусклые звёзды — красные карлики — невидимы для любого телескопа уже на расстоянии в несколько тысяч световых лет от Солнца, а самые мелкие среди них — коричневые карлики — даже на расстоянии в десятки световых лет. ещё труднее обнаружить планеты, не имеющие собственного излучения. Если планета одиноко движется в межзвёздном пространстве, то заметить её нет шанса. Не исключено, что в Галактике кроме легко наблюдаемых объектов остаётся ещё много невидимых, холодных и тёмных, похожих на планеты, астероиды, ядра комет; иногда астрономы в шутку называют их «кирпичами».

Вообще у галактик ещё много загадок: до сих пор в точности неизвестно, как происходило их формирование, почему они приобрели столь разнообразные формы, отчего у дисковых галактик возникают спиральные рукава, что скрыто в ядрах галактик... Возможно, ответ на многие из этих вопросов кроется в наличии невидимого вещества, в огромном количестве присутствующего в большинстве галактик, но проявляющего себя только силами своей гравитации. Признаки его существования астрономы заме-

тили давно: с середины 1930-х гг. накапливаются факты о том, что невидимое вещество входит в состав галактик, располагаясь в основном на их периферии — в гало, где очень мало звёзд и почти нет межзвёздного газа. Но какое-то вещество там все же присутствует и притягивает окружающие галактику соседние звёздные системы. Появление телескопов нового типа, чувствительных к радио-, инфракрасному и рентгеновскому диапазонам излучения, не помогло обнаружить это загадочное вещество: оно оказалось скрыто от телескопов всех типов.

Но эту невидимую массу выдает гравитационное поле, которое можно заметить, наблюдая за движением видимых тел. Например, если наблюдать за движением двух близких друг к другу галактик вокруг общего центра массы, то можно вычислить силу притяжения между ними. Если окажется, что всю эту силу обеспечивает видимое вещество галактик — их яркие звезды и газ, — значит, невидимого вещества в них нет. А если вычисленная сила явно превосходит то, что может дать видимое вещество — значит, в галактиках много невидимой массы.

Для таких измерений подходят также группы галактик и их большие скопления. Измеряя скорость взаимного движения галактик в скоплении, нетрудно вычислить и силу их взаимного притяжения: чем больше скорость движения, тем больше должна быть и сила, удерживающая галактики в скоплении. Нетрудно определить и полную массу одиночной галактики; например, по движению её небольших галактик-спутников, или шаровых звёздных скоплений, или даже одиночных звёзд, если для этого хватает мощности телескопа. Вычисленную на основе таких наблюдений полную массу галактики или системы галактик называют динамической массой. Таким образом, невидимая масса — это разность между динамической и видимой массами системы.

Как показывают наблюдения, скрытая масса есть почти в каждой галактике. Её присутствие чувствуется даже в карликовых галактиках (иногда встречаются карликовые галактики с чрезвычайно большой долей скрытой массы). Но обычно чем боль-

ше галактика, тем больше у неё доля скрытой массы. У наиболее крупных галактик невидимая масса может в несколько раз превышать видимую.

Загадка невидимой массы галактик — одна из самых волнующих в астрономии. Однако кое-что о ней всё же известно. Оказалось, например, что в центральных ярких областях галактик невидимой массы очень мало: практически всё притяжение этих областей можно связать с обычными звёздами. Чем дальше от центра галактики, тем больше доля невидимой массы. Например, в нашей Галактике в области солнечной орбиты (её радиус около 25 тыс. св. лет) приблизительно $\frac{1}{3}$ массы невидима. А дальше от центра Галактики невидимая масса начинает доминировать: звёзд и газа там почти не видно, а существенный источник тяготения присутствует. Динамическая масса Галактики в радиусе 150 тыс. св. лет в несколько раз превышает массу внутренней, видимой её части радиусом около 50 тыс. св. лет.

Из чего же состоит невидимое гало Галактики? В принципе это может быть что угодно — от мельчайших субъядерных частиц неизвестного сорта (типа нейтрино, например) до гигантских чёрных дыр с массами в миллионы масс Солнца. Чтобы определить массу отдельных невидимых объектов, нужно заметить действие гравитационного поля индивидуальных носителей массы. Было предложено немало идей, как это сделать: маленькие невидимые объекты могут попадать в звёзды и планеты, очень крупные сами могут притягивать к себе звёзды и даже, как чёрные дыры, «глотать» их. Не найдя явных следов таких событий, астрономы решили использовать эффект гравитационной линзы, т. е. любого массивного тела (планеты, звезды, галактики, скопления галактик), искривляющего своим гравитационным полем направление распространения излучения, подобно тому, как искривляет путь светового луча положительная линза. В 1990-е гг. началось несколько экспериментов по поиску носителей невидимой массы с использованием эффекта гравитационного микролинзирования: польско-американский эксперимент OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment), амери-

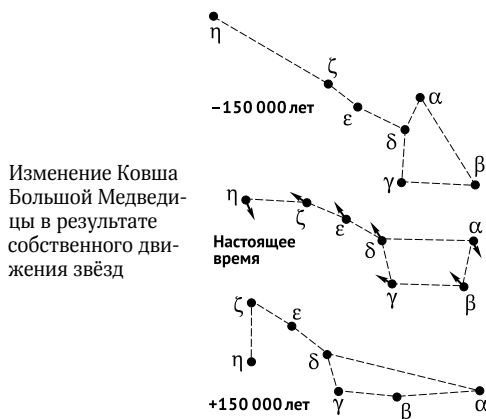
кано-австралийский MACHO (Massive Compact Halo Object) и французский EROS (Expérience de Recherche d'Objets Sombres). В каждом из них практически непрерывно измеряется яркость тысяч звёзд в надежде, что проходящий между Землёй и наблюдаемой звездой невидимый объект своим гравитационным полем исказит её изображение и изменит его яркость. Уже зафиксировано немало подозрительных случаев, но с выводами астрономы пока не спешат: нужно накопить большой материал, чтобы выводы стали статистически надёжными. До сих пор утверждения разных групп исследователей были противоречивыми. Например, группа OGLE заявила, что они обнаружили множество невидимых объектов с массами около $0,5 M_{\odot}$, в которых может содержаться до 20% тёмного вещества Галактики. В ответ на это группа MACHO, обладающая более чувствительной аппаратурой, заявила, что не видит подобных объектов.

СКУЛЬПТОР — экваториальное созвездие, введенное Н. Лакайлем под именем Мастерская Скульптора. Это созвездие не содержит ярких звёзд, поскольку максимально удалено от Млечного Пути — в нём находится южный полюс Галактики. Поэтому созвездие в основном интересно своими внегалактическими объектами. Крупная галактика NGC 55 видна почти с ребра; это одна из ближайших звёздных систем (около 4,2 млн. св. лет) за пределом Местной группы и поэтому довольно яркая (8^m). Она принадлежит группе галактик Скульптора, в которую также входят спиральные системы NGC 253, NGC 300 и NGC 7793 (все в Скульпторе), а также NGC 247 и, возможно, NGC 45 (обе в Ките). Группа галактик Скульптора, как и группа M81 в Большой Медведице, ближайшие соседи Местной группы галактик.

СЛАБОВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИЕ МАССИВНЫЕ ЧАСТИЦЫ (Weakly Interacting Massive Particles, WIMP) — гипотетическое семейство массивных элементарных частиц, участвующих только в гравитационном и слабым ядерном взаимодействиях, присутствие которых во Вселенной (в частности — в гало галактик) могло бы объяснить парадокс скрытой массы. Эти частицы — один из претендентов на роль тёмной материи. Их

пытаются экспериментально обнаружить в космосе и на ускорителях, но пока надёжных результатов нет.

СОБСТВЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ЗВЕЗДЫ — перемещение звезды на небесной сфере относительно других, значительно более далёких объектов, вызванное движением в пространстве наблюдаемой звезды относительно Земли. Измеряется угловой скоростью перемещения звезды по небесной сфере относительно неподвижной в пространстве системы координат. На практике определяется по изменению положения звезды относительно значительно более далёких звёзд или галактик. Обычно собственное движение указывается в угловых секундах за год. Для большинства ярких звёзд, в основном близких к Земле, оно составляет несколько десятых долей секунды в год и становится неизмеримо малой величиной для более далёких звёзд. Одна из ближайших к Земле звёзд, Летящая звезда Барнарда в Змееносце, имеет наибольшее известное собственное движение, равное $10,3''$ в год. За сотни тысяч лет собственное движение звёзд способно существенно изменить рисунок созвездий на земном небосводе.



Изменение Ковша Большой Медведицы в результате собственного движения звёзд

СОЕДИНЕНИЕ — такое расположение двух или нескольких членов Солнечной системы, когда разность их эклиптических долгот для земного наблюдателя равна нулю. В момент соединения небесные тела расположены на небе близко друг к другу. За один синодический период Меркурий и Венера дважды вступают в соединения с Солнцем. В момент нижнего соединения планета

расположена между Землёй и Солнцем, а в момент верхнего Солнце находится между планетой и Землёй.

СОЗВЕЗДИЯ — участки звёздного неба, на которые его условно разделили ещё в глубокой древности, и которые получили названия, навеянные наблюдаемой конфигурацией звёзд, легендами и мифами. Слово «созвездие» идёт от латинского *constellatio*, означающего «группа звезд». В древности созвездиями называли выразительные группы звёзд, которые помогали запоминать узор звёздного неба и с его помощью ориентироваться в пространстве и времени. У каждого народа были свои традиции разделения звёзд на созвездия. Используемые современными астрономами созвездия в большинстве своем носят названия и включают в себя яркие звёзды, традиционные для европейской культуры. В современном понимании созвездие — это участок небесной сферы со всеми проецируемыми на него с точки зрения земного наблюдателя небесными объектами. Следует понимать, что созвездие — это не ограниченная область в космическом пространстве (как, например, планетная система или галактика), а лишь некоторый диапазон направлений с точки зрения земного наблюдателя. Поэтому неправильно говорить: «Космический корабль полетел в созвездие Пегас»; верно будет сказать: «Космический корабль полетел в направлении созвездия Пегас». Звёзды, образующие узор созвездия, расположены от нас на разных расстояниях. Кроме звёзд, в определённом созвездии могут быть видны и очень далёкие галактики, и близкие объекты Солнечной системы — все они в момент наблюдения относятся к данному созвездию. Но со временем небесные объекты могут перемещаться из одного созвездия в другое. Быстрее всего это происходит с близкими и быстро движущимися объектами: Луна проводит в одном созвездии не более двух-трёх суток, планеты — от нескольких дней до нескольких лет; и даже некоторые близкие звезды за последнее столетие пересекали границы созвездий.

Современные границы, делящие всю небесную сферу на 88 созвездий, были установлены МАС в 1922–1935 гг. Эти границы

проходят только вдоль суточных параллелей и кругов склонения экваториальной системы координат эпохи 1875 г.

Названия созвездиям даны в честь мифических персонажей (Андромеда, Кассиопея, Персей и т. п.) или животных (Лев, Дракон, Большая Медведица и т. п.), примечательных объектов древности или современности (Весы, Жертовник, Компас, Телескоп, Микроскоп и т. п.), а также просто по названиям предметов, которые напоминают фигуры, образованные яркими звёздами (Треугольник, Стрела, Южный Крест и т. п.). Часто одна или несколько ярчайших звёзд в созвездии имеют собственные имена: Сириус в созвездии Большой Пес, Вега в созвездии Лиры, Капелла в созвездии Возничий и др. Как правило, названия звёзд связаны с названиями созвездий — например, обозначают части фигуры героя или мифологического животного.

Историкам астрономии и мифологии созвездия помогают понять образ жизни и мышления древних людей, современным астрономам — ориентироваться на небе и быстро определять положение объектов.

Каноническими являются латинские названия созвездий: ими пользуются астрономы всех стран. Но в каждой стране эти названия переводят на собственный язык, и иногда эти переводы небесспорны. Так, в русском языке нет единой традиции наименования созвездия *Centaurus*: его пишут как «Центавр» и «Кентавр». С годами менялась традиция перевода названий *Serpheus* (Кефей, Цефей), *Coma Berenices* (Волосы Вероники, Волосы Береники), *Canes Venatici* (Борзые Собаки, Гончие Собаки, Гончие Псы). В книгах разных лет и разных авторов названия созвездий могут различаться.

На основе латинских наименований созвездий для них приняты сокращённые трёхбуквенные обозначения. Обычно их используют при указании звёзд в этих созвездиях: например, звезда Вега, ярчайшая в созвездии Лиры, обозначается как α Lyrae (род. падеж от *Lyra*), или кратко — α Лир, Сириус — α CMa, Алголь — β Per, Алькор — 80 UMa и т. д.

Кроме официально утверждённых, в каждой стране существуют собственные, народные названия созвездий. Обычно это да-

Созвездия в алфавитном порядке русских названий

Русское название	Латинское название	Краткое обозначение	Русское название	Латинское название	Краткое обозначение
Андромеда	Andromeda	And	Микроскоп	Microscopium	Mic
Близнецы	Gemini	Gem	Муха	Musca	Mus
Большая Медведица	Ursa Major	UMa	Насос	Antlia	Ant
Большой Пес	Canis Major	CMa	Наугольник	Norma	Nor
Весы	Libra	Lib	Овен	Aries	Ari
Водолей	Aquarius	Aqr	Октант	Octans	Oct
Возничий	Auriga	Aur	Орел	Aquila	Aql
Волк	Lupus	Lup	Орион	Orion	Ori
Волопас	Bootes	Boo	Павлин	Pavo	Pav
Волосы Вероники	Coma Berenices	Com	Паруса	Vela	Vel
Ворон	Corvus	Crv	Пегас	Pegasus	Peg
Геркулес	Hercules	Her	Персей	Perseus	Per
Гидра	Hydra	Hya	Печь	Fornax	For
Голубь	Columba	Col	Райская Птица	Apus	Aps
Гончие Псы	Canes Venatici	CVn	Рак	Cancer	Cnc
Дева	Virgo	Vir	Резец (скульптора)	Caelum	Cae
Дельфин	Delphinus	Del	Рыбы	Pisces	Psc
Дракон	Draco	Dra	Рысь	Lynx	Lyn
Единогор	Monoceros	Mon	Северная Корона	Corona Borealis	CrB
Жертвенник	Ara	Ara	Секстант	Sextans	Sex
Живописец	Pictor	Pic	Сетка	Reticulum	Ret
Жираф	Camelopardalis	Cam	Скорпион	Scorpius	Sco
Журавль	Grus	Gru	Скульптор	Sculptor	Scl
Заяц	Lepus	Lep	Столовая Гора	Mensa	Men
Змееносец	Ophiuchus	Oph	Стрела	Sagitta	Sge
Змея	Serpens	Ser	Стрелец	Sagittarius	Sgr
Золотая Рыба	Dorado	Dor	Телескоп	Telescopium	Tel
Индеец	Indus	Ind	Телец	Taurus	Tau
Кассиопея	Cassiopeia	Cas	Треугольник	Triangulum	Tri
Кентавр (Центавр)	Centaurus	Cen	Тукан	Tucana	Tuc
Киль	Carina	Car	Феникс	Phoenix	Phe
Кит	Cetus	Cet	Хамелеон	Chamaeleon	Cha
Козерог	Capricornus	Cap	Цефей	Cepheus	Cep
Компас	Pyxis	Pyx	Циркуль	Circinus	Cir
Корма	Puppis	Pup	Часы	Horologium	Hor
Лебедь	Cygnus	Cyg	Чаша	Crater	Crt
Лев	Leo	Leo	Щит	Scutum	Sct
Летучая Рыба	Volans	Vol	Эридан	Eridanus	Eri
Лира	Lyra	Lyr	Южная Гидра	Hydrus	Hya
Лисичка	Vulpecula	Vul	Южная Корона	Corona Australis	CrA
Малая Медведица	Ursa Minor	UMi	Южная Рыба	Piscis Austrinus	PsA
Малый Конь	Equuleus	Equ	Южный Крест	Crux	Cru
Малый Лев	Leo Minor	LMi	Южный Треугольник	Triangulum Australe	TrA
Малый Пес	Canis Minor	CMi	Ящерица	Lacerta	Lac

же не созвездия, а астеризмы – выразительные группы ярких звёзд. Например, на Руси семь ярких звёзд в созвездии Большой Медведицы называли «Ковш», «Телега», «Лось», «Коромысло» и т. д. В созвездии Ориона выделялись Пояс и Меч под названиями Три Царя, Аршинчик, Кичиги, Грабли. Звёздное

скопление Плеяды на Руси зовут «Стожары», «Решето», «Улей», «Лопоть», «Гнездо», «Утиное гнездо» и т. п.

СОЛ – солнечные сутки на какой-либо планете Солнечной системы, исключая Землю. Термин «sol» родился после успешной посадки на Марс станции Mars Pathfinder

(NASA) 4 июля 1997 г. Марсианский сол продолжается 24 час 39 мин 35,244 с.

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ — совокупность активных образований (пятен, протуберанцев, и т. п.) и нестационарных динамических явлений (вспышек, всплывающих магнитных потоков) в солнечной атмосфере. Характеризуется различными индексами солнечной активности: числом Вольфа (относительное цюрихское число солнечных пятен), общей площадью солнечных пятен, общим потоком радио- или рентгеновского излучения, и др.

СОЛНЕЧНАЯ ВСПЫШКА — самое мощное проявление солнечной активности. За рождается в хромосфере или короне Солнца и быстро (за несколько минут) охватывает все слои солнечной атмосферы, проявляясь как сильное уярчение небольшой части солнечного диска (менее $1/1000$ его полной площади). За время вспышки выделяется энергия 10^{23} – 10^{25} Дж в виде тепла (горячий газ излучающий в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах) и выброса вещества со скоростями от 1000 км/с (корпускулярные потоки) до 100 000 км/с (солнечные космические лучи). Подробнее см. *Вспышки на Солнце*.

СОЛНЕЧНАЯ КОРОНА — внешняя разреженная часть атмосферы Солнца, имеющая температуру от 1 до 2 млн К. Корона имеет жемчужный цвет и простирается от видимого края солнечного диска на несколько его диаметров, т. е. на миллионы километров. Её подразделяют на внешнюю корону, видимую только в моменты полных солнечных затмений, и внутреннюю корону, которую можно наблюдать с помощью коронографа. Солнечная корона служит источником солнечного ветра.

СОЛНЕЧНАЯ ПОСТОЯННАЯ — количество лучистой солнечной энергии, падающей за единицу времени на единицу площади поверхности, перпендикулярной к лучам, за пределом земной атмосферы на расстоянии 1 а. е. от Солнца. Солнечная постоянная составляет 1,962 калории/(см²·мин), или 1369 Вт/м². За более чем столетний период точных астрономических наблюдений значение солнечной постоянной не изменялось более чем на несколько десятых до-

лей процента. Отсюда и название — «постоянная».

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА — система небесных тел (Солнце, планеты, спутники планет, планеты-карлики, астероиды, кометы, метеорные тела, космическая пыль), постоянно находящихся в области преобладающего гравитационного влияния Солнца. Наблюдаемый радиус Солнечной системы примерно 100 а. е., но сфера, в пределах которой возможно устойчивое движение небесных тел вокруг Солнца, простирается на $2 \cdot 10^5$ а. е., что сравнимо с расстоянием до ближайших звёзд.

Планеты Солнечной системы по массе и составу делят на две группы: небольшие твёрдые планеты земного типа (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и газово-жидкие планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун). Примерно 99,5% суммарной массы планет Солнечной системы приходится на долю планет-гигантов. Однако в целом планеты — незначительная часть системы: основная её масса (99,86%) заключена в Солнце, т. е. оно в 715 раз массивнее всех остальных тел Солнечной системы вместе взятых. В то же время почти весь момент импульса системы заключен в орбитальном движении планет, прежде всего Юпитера и Сатурна. Периоды обращения планет по их орбитам закономерно увеличиваются с удалением от Солнца. Быстрее всех по орбите движется Меркурий: со средней скоростью 48 км/с он совершает оборот вокруг Солнца за 0,24 земного года. Венера, двигаясь со скоростью 35 км/с, завершает один оборот за 0,62 года. Земля, естественно, — за год; её скорость около 30 км/с. А Марс, средняя скорость которого 24 км/с, — за 1,9 года. Самая сильная эллиптичность орбиты у Меркурия: её эксцентриситет равен 0,2; к тому же она заметно наклонена к плоскости, близ которой лежат орбиты остальных планет. Самый малый эксцентриситет орбиты у Венеры (0,01), она движется практически по окружности. Но в одном Венера и Меркурий очень схожи: их суточное вращение — самое медленное среди всех планет. Один оборот вокруг оси (звёздные сутки) у Меркурия длится 58,6 земных суток ($2/3$ меркурианского года), а у Венеры — 243 сут, что

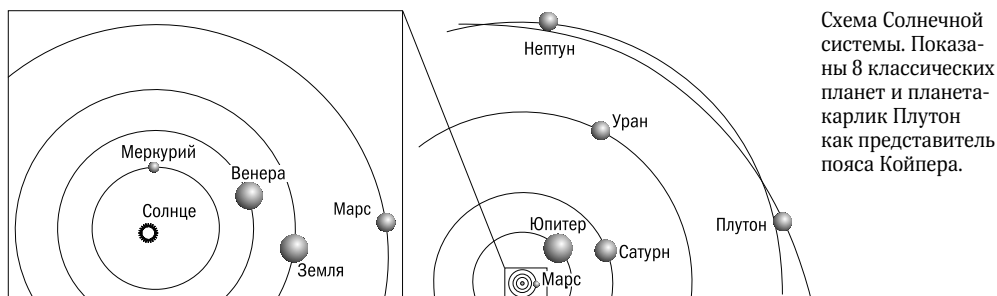


Схема Солнечной системы. Показаны 8 классических планет и планета-карлик Плутон как представитель пояса Койпера.

даже превышает длину венецианского года! Оси вращения обеих планет почти перпендикулярны их орбитальным плоскостям, но направления вращения разные: Меркурий, как и большинство планет, вращается в прямом направлении (так же, как движется по орбите), а Венера — в обратном, и в этом одна из её загадок.

Земля и Марс вращаются одинаково правильно: в прямом направлении, с суточным периодом около 24 часов, и даже оси их вращения наклонены почти на одинаковый угол: между полярной осью и перпендикуляром к орбитальной плоскости у Земли угол 23° , а у Марса — 25° . Именно этот наклон приводит к смене времен года на Земле и Марсе, подставляющих Солнцу то свое южное, то северное полушария.

У планет земной группы очень мало спутников: на 4 планеты всего 3 спутника (тогда как у планет-гигантов их более 200). Самый большой спутник — у Земли, это Луна, ещё два маленьких — у Марса: Фобос и Деймос, каждый размером менее 30 км. Меркурий и Венера вообще не имеют спутников.

Чем дальше от Солнца располагается планета, тем меньше тепла и света она получает, однако температура на поверхности зависит также и от наличия и состава атмосферы. У Меркурия практически нет атмосферы, и солнечные лучи беспрепятственно проникают к его поверхности. Максимальная температура на Меркурии достигает почти 700 К. Но самая высокая температура наблюдается на поверхности второй от Солнца планеты — Венеры, расположенной почти вдвое дальше от Солнца. Её мощная атмосфера из углекислого газа удерживает тепло, сохраняя у поверхности одинаковую температуру днём и но-

чью — около 735 К. На Земле среднегодовая температура близка к 290 К, а на Марсе с его очень разреженной углекислой атмосферой — лишь к 220 К.

Среди всех планет земной группы единственным магнитным полем обладает только Земля. У остальных планет оно очень слабое. Магнитное поле Меркурия примерно в сто раз слабее земного, а у Марса и Венеры оно ещё меньше. Итак, среди подобных ей планет Земля выделяется тремя свойствами: наличием массивного спутника, большого количества жидкой воды на поверхности и весьма сильного магнитного поля. Вероятно, это и сыграло решающую роль в появлении жизни именно на ней.

Изучение карт рельефа поверхностей планет земной группы показало, что перепады высот увеличиваются с расстоянием от Солнца: на Меркурии перепад высот менее 10 км, на Венере — 15 км, на Земле — 20 км (включая океанские впадины), на Марсе — более 30 км. По внутреннему строению планеты земной группы мало различаются: они, как правило, имеют металлическое ядро, мягкую мантию и твёрдую кору различной толщины. Особенностью Марса служат гигантские древние вулканические горы, самые крупные из которых достигают 26 км в высоту.

Группа более удалённых от Солнца планет, включающая Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, совершенно не похожа на группу планет земного типа. Это очень массивные планеты-гиганты. Средняя плотность вещества этих планет удивительно низкая: от $0,7 \text{ г/см}^3$ у Сатурна до $1,6 \text{ г/см}^3$ у Нептуна. У этих планет нет твёрдой поверхности в привычном для нас смысле. Они состоят в основном из водорода и гелия. Их видимая

поверхность не что иное, как облачный покров мощной атмосферы, окружающей океан жидкого молекулярного водорода.

Периоды обращения планет-гигантов вокруг Солнца весьма велики: от 12 лет у Юпитера до 164 лет у Нептуна. Однако вокруг своей оси они вращаются очень быстро, быстрее любой из планет земной группы: средний период вращения видимых поверхностей Юпитера и Сатурна составляет около 10 часов, а Урана и Нептуна — около 17 часов. Все планеты-гиганты окружены системами колец и множеством спутников, большая часть из которых была открыта в последние десятилетия. По состоянию на 2020 г. у Юпитера 79 спутников; крупнейший — Ганимед, диаметром 5268 км. У Сатурна как минимум 82 спутника; крупнейший — Титан, 5150 км. Уран имеет 27 спутников; крупнейший — Титания, 1580 км. У Нептуна 14 спутников во главе с Тритоном, 2700 км.

Среди карликовых планет лучше других изучен Плутон. Он не похож ни на одну из больших планет. Его диаметр всего 2377 км — меньше, чем у Луны. Это очень холодная планета, ведь она расположена в 40 раз дальше от Солнца, чем Земля. У Плутона есть крупный спутник, диаметром лишь вдвое меньше самой планеты — Харон, расположенный на расстоянии менее 20 тыс. км от Плутона. Эту пару нередко называют двойной планетой. Вокруг них обращаются ещё 4 небольших спутника. Для Плутона, Харона и подобных им планет-карликов пояса Койпера, вероятно, характерна толстая ледяная кора, хотя состав слагающих их пород, по-видимому, разный. По своим параметрам, внутреннему строению и составу пород Плутон больше похож на ледяные спутники планет-гигантов, чем на планеты земной группы.

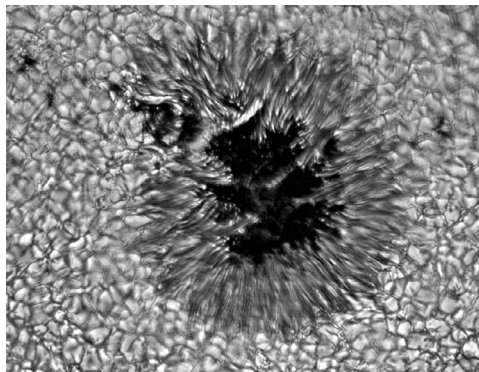
Астрономов интересуют причины, по которым планеты земной группы так сильно отличаются от планет-гигантов. Главная причина очевидна — различное расстояние от Солнца. И дело здесь не только и не столько в количестве тепла и света, получаемом этими планетами. Просто на заре эволюции планетной системы условия формирования планет были различными вблизи Солнца и на большем расстоянии от него.

Параметры планет Солнечной системы, а также Плутона как прототипа планет-карликов

Планета	Большая полуось орбиты, а. е.	Орбитальный период, годы	Эксцентриситет орбиты	Радиус экваториальный (Земля = 1)	Масса (Земля = 1)
Меркурий	0,387	0,241	0,206	0,383	0,0553
Венера	0,723	0,615	0,007	0,949	0,815
Земля	1,000	1,000	0,017	1,000	1,000
Марс	1,524	1,881	0,093	0,533	0,107
Юпитер	5,204	11,868	0,049	11,21	317,83
Сатурн	9,584	29,666	0,057	9,45	95,16
Уран	19,187	84,048	0,046	4,01	14,50
Нептун	30,021	164,491	0,011	3,88	17,20
Плутон	39,231	245,73	0,244	0,18	0,0021

Существенно различались и плотность вещества, из которого формировались планеты, и его химический состав. Вопрос о том, почему существовали такие различия и как происходило образование планет, пытаются решить один из разделов астрономии — космогония. Материалом для размышлений космогонистов служат детальные данные о Солнечной системе и других планетных системах, как существующих (см. *Экзопланеты*), так и формирующихся (см. *Протопланетный диск*).

СОЛНЕЧНЫЕ ПЯТНА — тёмные на вид небольшие области на диске Солнца, легко различимые в небольшой телескоп. Как правило, солнечные пятна появляются недалеко от солнечного экватора, на широтах от 5° до 35°, и через несколько дней (иногда — недель, редко — месяцев) исчезают. При наблюдении с Земли угловой размер солнечных пятен обычно составляет от 7" до 2', т. е. от 5000 до 90 000 км на поверхности Солнца. Тёмным солнечное пятно кажется лишь по сравнению с окружающей его яркой поверхностью Солнца. В области пятна температура фотосферы Солнца около 4500 К, тогда как окружающая его фотосфера нагрета до 5800 К. У хорошо развитого пятна выделяется более тёмная центральная часть — «тень» (нередко состоящая из нескольких фрагментов) и окружающая его менее тёмная периферия — «полутень»,



Солнечное пятно

состоящая из радиально ориентированных волокон разной яркости.

Солнечные пятна относятся к активным образованиям солнечной атмосферы. Появление пятна обусловлено всплыванием силовой трубки концентрированного магнитного поля напряженностью несколько тысяч эрстед, затрудняющего конвекцию ионизованного газа, что приводит к остыванию участка фотосферы. Развитие пятна начинается с появления маленькой тёмной «поры», которая может исчезнуть, а может и вырасти в более крупное образование — пятно с центральной тенью и окружающей его полутенью. Постепенно пятно расширяется, делится на части, бледнеет и исчезает.

Большинство солнечных пятен образуют вытянутые примерно вдоль солнечного экватора пары — биполярные группы пятен с противоположной полярностью магнитного поля, как у концов подковообразного магнита. Как правило, все восточные и западные поля пятен имеют одну и ту же последовательность полярностей, однако противоположную в северном и южном полушариях Солнца. Количество солнечных пятен и образованных ими биполярных групп периодически (точнее циклически, т. е. за непостоянный интервал времени, но в среднем за 11 лет) сначала относительно быстро увеличивается, а затем медленнее убывает.

СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР — плазма, постоянно истекающая из Солнца. См.: Звёздный ветер.

СОЛНЕЧНЫЙ ЦИКЛ — циклическое изменение явлений на Солнце. Основные циклы солнечной активности имеют 11- и 22-летние периоды.

СОЛНЦЕ — звезда, центральное светило Солнечной системы, одна из многих миллиардов звёзд нашей Галактики. Физические характеристики Солнца: масса $M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30}$ кг; видимая поверхность (фотосфера) имеет форму шара радиусом $R_{\odot} = 6,960 \cdot 10^8$ м; средняя плотность вещества $1,41$ г/см³; полная мощность излучения с поверхности (светимость) $L_{\odot} = 3,850 \cdot 10^{26}$ Вт. Эффективная температура солнечной поверхности, определяющая полный поток излучения Солнца, составляет около 5800 К, но температура поверхности, найденная по положению максимума излучения в спектре Солнца, равна 6750 К. На диаграмме Герцшпрунга — Рассела Солнце располагается на главной последовательности и имеет спектральный класс G2. Состав вещества (по массе): 75% водорода, 23% гелия и 2% всех остальных химических элементов вместе. Рассчитанная плотность вещества в центре Солнца около 160 г/см³, температура — около 15 млн К. Возраст Солнца около 4,6 млрд лет. Солнце вращается вокруг оси неоднородно: период вращения на экваторе около 25 сут, вблизи полюсов — около 30 сут. Поверхность имеет вид бурлящей от нагрева жидкости: тонкими темноватыми прожилками она разбита на светлые ячейки — гранулы, каждая размером около 800 км. Так проявляется конвекция газа в верхних слоях Солнца. В фотосфере регулярно появляются и исчезают тёмные солнечные пятна, обычно окружённые более светлыми и горячими участками — факелами. Характерный размер пятен 30 тыс. км, время жизни — около месяца.

Над фотосферой расположена разреженная и горячая хромосфера, а над ней — ещё более разреженная и гораздо более горячая солнечная корона, которая постепенно рассеивается в окружающем пространстве, формируя солнечный ветер. Иногда в атмосфере Солнца происходит мощное локальное выделение энергии — солнечная вспышка. При этом в межпланетное пространство выбрасываются потоки солнечных космических лучей, вызывающие заметные явления в верхних слоях земной атмосферы (полярные сияния, магнитные бури). Описанные выше процессы называют

солнечной активностью. Её интенсивность изменяется с периодом около 11 лет.

СОЛНЦЕСТОЯНИЕ — прохождение Солнца через точки эклиптики, максимально удалённые от небесного экватора. Их называют точками солнцестояния. Различают летнее и зимнее солнцестояния. В эти моменты высота Солнца над горизонтом в полдень соответственно максимальна или минимальна.

В Северном полушарии летнее солнцестояние приходится на 20, 21 или 22 июня, а зимнее — на 21 или 22 декабря (в Южном полушарии — наоборот). Чтобы избежать севернороссийского шовинизма, их иногда называют «июньское солнцестояние» и «декабрьское солнцестояние», а равноденствия — соответственно «мартовское равноденствие» и «сентябрьское равноденствие». Даты солнцестояния в разные годы могут отличаться на 1–2 дня вследствие високосного сдвига. По традиции терминология ориентируется на Северное полушарие: июньское событие по всей Земле называют летним солнцестоянием, соответствующую точку эклиптики — точкой летнего солнцестояния, а декабрьское событие — зимним солнцестоянием и точку эклиптики — точкой зимнего солнцестояния. В эти даты на Земле наблюдается самый длинный или самый короткий световой день (разумеется, в течение суток; многосуточные полярные дни не в счёт). В Северном полушарии в день зимнего солнцестояния к югу от Северного полярного круга наблюдается самый короткий день, а в день летнего солнцестояния — самый длинный; в Южном полушарии — наоборот.

В астрономии момент летнего солнцестояния принимается за начало лета, а зимнего — за начало зимы (в Северном полушарии). Эклиптическая долгота Солнца в эти моменты, соответственно, 90° и 270° . В средних широтах в течение астрономической зимы и весны Солнце каждый день кульминирует в полдень всё выше и выше над горизонтом, а в день летнего солнцестояния «останавливается» и изменяет своё движение на обратное. Летом и осенью (с 21 июня по 21 декабря) оно каждый день кульминирует всё ниже и ниже. В конце концов, в мо-

мент зимнего солнцестояния, Солнце вновь «останавливается», изменяет своё движение на обратное и начинает подниматься. В течение нескольких дней до и после моментов солнцестояния высота Солнца в полдень почти не меняется, т. е. светило почти не меняет своего склонения. Отсюда и происходит название явлений — солнцестояния. Из наблюдений высоты Солнца в периоды солнцестояний можно определить наклон плоскости эклиптики к плоскости небесного экватора: он равен половине углового расстояния между точками летнего и зимнего солнцестояний.

СОПУТСТВУЮЩАЯ СИСТЕМА ОТСЧЁТА В КОСМОЛОГИИ — система отсчёта, движущаяся (расширяющаяся) вместе с совокупностью всех галактик и их скоплений, т. е. такая система, относительно которой галактики покоятся.

Вдали от тяготеющих тел, когда поле тяготения слабо, справедлива частная (специальная) теория относительности. В ней все системы отсчёта, движущиеся по инерции, равноправны. Каждую такую систему отсчёта можно представить в виде жёсткой пространственной решётки, относительно которой определяют положение (координаты) тел. Трёхмерное пространство каждой такой решётки называется пространством данной системы отсчёта. Геометрия такого пространства евклидова.

В более общем случае, когда поле тяготения велико и меняется с течением времени, геометрические свойства пространства уже не евклидовы и меняются с течением времени. Это означает, что каркас системы отсчёта не может быть жёстким, он деформируется с течением времени из-за изменения геометрии пространства. В этом случае систему отсчёта можно представить в виде произвольного деформирующегося каркаса, задаваемого системой воображаемых движущихся частиц. Выбор системы отсчёта произволен, обычно выбирают систему, наиболее удобную для конкретного случая. Так, при рассмотрении движения непрерывной среды часто удобно связать систему отсчёта с частицами этой среды, т. е. считать деформирующийся каркас «приклеенным» к частицам среды. В этой системе отсчёта

частицы среды покоятся, а система деформируется точно так же, как и среда.

В грандиозных масштабах Вселенной, содержащей миллиарды галактик, отдельные галактики или даже их скопления можно рассматривать как частицы, а их совокупность — как непрерывную среду. Систему отсчёта, «приклеенную» к этой среде, называют в космологии сопутствующей. Скопления галактик удаляются друг от друга из-за космологического расширения, а значит, сопутствующая система отсчёта, рассматриваемая в космологии, расширяется.

СПЕКТР — зависимость энергии излучения источника от длины волны (или частоты) излучения. В оптическом диапазоне спектр воспринимается глазом как последовательность цветов, в которую раскладывается луч света с помощью призмы или дифракционной решётки.

СПЕКТР ЛИНЕЙЧАТЫЙ, ИЛИ ЭМИССИОННЫЙ — спектр излучения разреженного газа, состоящий из отдельных спектральных линий с широкими тёмными промежутками между ними. Для каждого химического элемента характерен свой набор спектральных линий.

СПЕКТР НЕПРЕРЫВНЫЙ — спектр, в любом интервале длин волн (частот) которого присутствует излучение, что соответствует плавному и непрерывному переходу от одного цвета к другому. Непрерывный спектр характерен для излучения непрозрачных тел, не имеющих перепадов температуры.

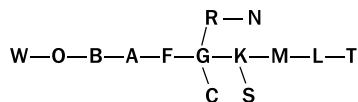
СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ — непрерывный спектр, на фоне которого видны тёмные линии поглощения, которые обычно обязаны своим появлением присутствию относительно холодного газа перед источником непрерывного спектра.

СПЕКТР СРАВНЕНИЯ — спектр, обычно линейчатый эмиссионный спектр от искусственного источника, проецируемый рядом со спектром астрономического объекта, и регистрируемый одновременно с ним. Спектр сравнения, содержащий линии с известной длиной волны, задаёт шкалу длин волн в изображении и позволяет выполнять измерения линий в спектре изучаемого объекта.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ДВОЙНАЯ — двойная звезда, компоненты которой так близки друг к другу, что их не удается различить по отдельности даже в мощный телескоп, но период и скорость их орбитального движения вокруг общего центра массы могут быть измерены путём спектрального анализа.

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПЕРЕМЕННАЯ — звезда, у которой интенсивность некоторых линий в спектре регулярно изменяется. Вероятно, причиной этого служит вращение звезды, поверхность которой покрыта крупными пятнами с неоднородностями химического состава, температуры и магнитного поля.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ КЛАССЫ ЗВЁЗД — деление звёзд по характеру их оптического спектра (см. *Гарвардская система*). Спектральные классы тесно связаны с температурой (в меньшей степени — с плотностью и химическим составом) звёздных атмосфер. Диапазону эффективных температур звёзд от 50 000 до 2000 К соответствует последовательность спектральных классов, обозначаемых буквами O, B, A, F, G, K, M, L и T. Дополнительные классы R, N и S отражают вариации химического состава холодных звёзд.



Последовательность спектральных классов звёзд

Промежуток между соседними спектральными классами делился на 10 подклассов — от 0 до 9 — с ростом в сторону уменьшения температуры (пример: ..., A8, A9, F0, F1...). Например, спектральный класс Солнца G2. Недавно исходное деление на 10 подклассов было преобразовано путём добавления или удаления некоторых подклассов, что позволяет обеспечить более плавные переходы при изменении температуры.

Наиболее «холодные» классы L, T и Y введены недавно и пока детально не разработаны. Фактически к спектральному классу T (и частично даже к L) относятся не звезды, а коричневые карлики, в недрах которых не происходит термоядерных реакций с участием легкого изотопа водорода. Класс Y объединяет остывающие коричневые кар-

лики с температурой 300–500 К. См. также *Классы светимости*.

Современное деление спектральных классов звёзд на подклассы

Класс	Подклассы
O	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9.5
B	0, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9.5
A	0, 2, 3, 5, 7
F	0, 2, 3, 5, 7, 8, 9
G	0, 2, 5, 8
K	0, 2, 3, 4, 5
M	0, 1, 2, 3, 4, 7, 8

СПЕКТРОГРАФ — прибор для регистрации спектра исследуемого объекта. Основные части оптического спектрографа: щель для выделения узкой полосы изображения, коллиматор (объектив) для создания параллельных пучков света от каждой точки щели, призма или дифракционная решётка для разложения пучка света в спектр, камера для фотографирования спектра.

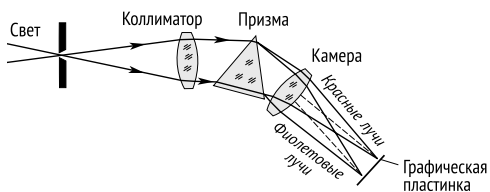


Схема простейшего призмного спектрографа

СПИКА — α Девы, звезда $0,98^m$, удалённая от Солнца на 270 св. лет. Это двойная звезда, компоненты которой обращаются вокруг общего центра масс с периодом около 4 сут. Каждая из этих горячих голубых звёзд раз в десять массивнее Солнца и по светимости превосходит его примерно в 1000 раз. При этом один из компонентов является пульсирующей переменной звездой.

СПИКУЛЫ — основной элемент тонкой структуры хромосферы Солнца. Спикулы в виде тонких струй светящегося газа появляются и исчезают за несколько минут.

СПИРАЛЬНАЯ ГАЛАКТИКА — галактика, основным наблюдаемым элементом которой является вращающийся диск с выделяющимися на нём спиральными ветвями, выходящими из центральной области диска. К числу таких галактик относится наша Галактика и ближайшие крупные галактики —

Туманность Андромеды (М31) и Туманность Треугольника (М33).

СПИРАЛЬНЫЕ ВЕТВИ ГАЛАКТИК — элемент структуры спиральных галактик. Спиральные ветви выделяются повышенной яркостью на фоне галактического диска благодаря концентрации в них звёзд высокой светимости и ярких эмиссионных туманностей. Спиральные ветви галактик содержат также области, где концентрируются облака холодного межзвёздного газа и происходит рождение звёзд. В диске нашей Галактики, несомненно, есть спиральные ветви, но точный их рисунок пока не определён, поскольку наблюдаются они в проекции друг на друга сквозь плотные облака межзвёздного вещества, поглощающего свет. В большинстве случаев спиральные ветви возникают в результате распространения гигантских по размеру волн сжатия и разряжения по газово-звёздному диску галактики.

СПЛЮСНУТОСТЬ ПЛАНЕТЫ — степень отклонения фигуры вращающейся планеты от сферы, вызванная её сжатием вдоль полярной оси и расширением в плоскости экватора за счёт центробежных сил. В некоторых публикациях вместо термина «сплюснутость» используются термины «сжатие» или «эллиптичность». Геометрическая сплюснутость численно выражается отношением разности экваториального и полярного радиусов к экваториальному радиусу планеты:

$$\varepsilon = (R_e - R_p)/R_e.$$

Динамическая сплюснутость, или динамическое сжатие, планеты выражается через амплитуду второй гармоники (J_2) в разложении её гравитационного потенциала в ряд по полиномам Лежандра, а также через массу планеты (M), угловую скорость её вращения (ω) и экваториальный радиус (R_e):

$$e_d = 3/2 \times J_2 + 1/2 q,$$

где $q = \omega^2 R_e^3 / (GM)$. Среди больших планет Солнечной системы наибольшую сплюснутость имеет Сатурн ($\varepsilon = 0,098$), а наименьшую — Венера ($\varepsilon = 0$). Сплюснутость Земли составляет 0,003354.

СПУТНИК. 1) Естественный спутник — небольшое природное тело, обращающееся по орбите вокруг планеты или астероида. Здесь

«небольшое» следует понимать лишь по отношению к самой планете, поскольку некоторые спутники планет-гигантов по размеру могут превосходить небольшие планеты: Ганимед (спутник Юпитера) и Титан (спутник Сатурна) больше Меркурия. По-видимому, есть основания называть подобные объекты планетами-спутниками, поскольку у них есть все физические признаки планет, и только их орбиты отличаются от орбит планет наличием сильного возмущения со стороны близкого массивного тела.

2) Искусственный спутник — рукотворный космический аппарат, обращающийся по орбите вокруг естественного небесного тела — планеты, астероида, ядра кометы, и т. п. Например: искусственный спутник Земли (ИСЗ), искусственный спутник Луны (ИСЛ). Части ракет-носителей и технологические детали обычно называют не спутниками, а космическим мусором. Пилотируемые орбитальные станции также не принято теперь называть искусственными спутниками, хотя формально они ими являются. Аппараты, обращающиеся по околосолнечным орбитам, обычно называют не спутниками Солнца, а межпланетными зондами или автоматическими межпланетными станциями (АМС).

СРЕДНЕЕ СОЛНЦЕ — воображаемая точка, равномерно движущаяся с запада на восток по небесному экватору, и совершающая полный оборот относительно точки весеннего равноденствия в течение тропического года. Её положение совпадает с центром истинного Солнца в моменты весеннего и осеннего равноденствий, т. е. когда Солнце пересекает экватор. Среднее солнце введено как вспомогательное расчётное средство для установления однородной шкалы времени. Среднее солнце служило основой системы точного времени до введения международного атомного времени.

СТАНДАРТНАЯ СВЕЧА — астрономический объект (обычно это звезда, звёздное скопление или галактика), по наблюдаемым свойствам которого можно догадаться о его истинной светимости и таким образом, сравнивая светимость с наблюдаемым блеском, определить расстояние до этого объекта. Основанием для этого служит основ-

ной фотометрический закон, или закон обратных квадратов (освещённость обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника света).

Классический пример стандартной свечи — переменная звезда-цефеида: характерный вид кривой блеска позволяет заключить, что это именно цефеида, а период изменения её блеска позволяет определить светимость звезды (см. *Зависимость периода — светимость*). В роли стандартной свечи с большим или меньшим успехом астрономы используют множество объектов и их систем. Например, главная последовательность на диаграмме Герцшпрунга — Рассела у звёздных скоплений сходного химического состава имеет одинаковую форму и положение. Это служит основанием для определения относительного расстояния скопления методом совмещения их главных последовательностей. С некоторой натяжкой можно считать, что одинаковую светимость имеют ярчайшие звезды во всех галактиках или ярчайшие галактики во всех скоплениях галактик.

В конце XX в. важную роль как стандартные свечи сыграли сверхновые типа Ia. Как выяснилось, эти вспышки обладают важной особенностью: их светимость в максимуме блеска связана со скоростью уменьшения блеска после максимума. Поэтому, наблюдая за ходом кривой блеска, можно определить светимость в максимуме и, следовательно, расстояние до галактики, в которой произошла вспышка сверхновой. Этот метод позволил измерить расстояния до очень далёких галактик, уточнить изменение постоянной Хаббла со временем и обнаружить факт ускоренного расширения Вселенной в современную эпоху.

СТОЛОВАЯ ГОРА — южное созвездие, которое Н. Лакайль назвал в честь Столовой горы, расположенной к югу от Кейптауна, на мысе Доброй Надежды в Южной Африке, где Лакайль производил свои наблюдения. Созвездие лежит недалеко от южного полюса мира. В нём нет звёзд ярче 5^m , недаром Джон Гершель назвал его «пустыней». Но зато именно в этом созвездии лежит значительная часть соседней галактики Большое Магелланово Облако.

СТОЯНИЕ ПЛАНЕТЫ — кратковременная остановка верхней планеты в её видимом движении относительно звёзд при смене прямого движения на попятное и наоборот.

СТРАТОСФЕРА (лат. *stratum* слой) — слой земной атмосферы, лежащий над тропосферой и начинающийся с высот 8–10 км в полярных областях и 16–18 км в экваториальных; простирается до высот 50–55 км, где расположена верхняя граница стратосферы — стратопауза. В стратосфере температура в среднем растёт с высотой от -80°C в тропиках и -50°C в полярных областях до приблизительно 0°C . Причина этого в том, что источник тепла — слой озона, поглощающего солнечный ультрафиолет, — находится в верхней части стратосферы. Рост температуры с высотой делает стратосферу устойчивой: в ней отсутствуют вертикальные конвективные движения.

Стратосфера отличается от тропосферы ничтожным содержанием водяного пара, однако на высотах 22–24 км в высоких широтах иногда наблюдаются очень тонкие «перламутровые облака», состоящие из переохлаждённых капель воды. Днём они не видны, а ночью кажутся светящимися, так как освещаются Солнцем из-под горизонта.

СТРЕЛА — маленькое изящное созвездие между Лисичкой и Орлом. Эратосфен считал, что это стрела Аполлона, использованная им для мести одноглазым великанам-киклопам, давшим Зевсу молнии, которыми тот убил Асклепия, сына Аполлона. Среди интересных объектов — короткопериодическая повторная новая WZ Sge, вспыхивавшая в 1913, 1946, 1978 и 2001 гг.

СТРЕЛЕЦ — зодиакальное созвездие. Греческий миф связывает его с кентавром Кротосом, прекрасным охотником. В направлении Стрельца находится центр Галактики, удалённый от нас на 27 000 св. лет, но скрытый для оптических наблюдений за облаками межзвёздной пыли и доступный изучению только в радио-, инфракрасной и рентгеновской области спектра (то же, впрочем, справедливо и для других направлений вдоль Млечного Пути). В Стрельце располагается самая красивая часть Млечного Пути, множество шаровых скоплений, а также тёмных и светлых туманностей.

В этой области неба открыты многие тысячи переменных звёзд.

СУБМИЛЛИМЕТРОВАЯ АСТРОНОМИЯ — область астрономии, в которой природа космических объектов исследуется по их излучению в диапазоне электромагнитного спектра с длиной волны приблизительно от 0,1 мм до 1,0 мм, что соответствует диапазону частоты от 3000 ГГц до 300 ГГц. А поскольку $3000\text{ ГГц} = 3 \cdot 10^{12}\text{ Гц} = 3\text{ ТГц}$, то этот диапазон называют также терагерцевым (англ. синонимы — terahertz waves, terahertz light, T-rays, T-waves, T-light, T-lux, THz). На шкале электромагнитных волн субмиллиметровый диапазон лежит между инфракрасным и микроволновым диапазонами спектра.

Основным объектом наблюдения субмиллиметровой астрономии является холодная (10–20 К) межзвёздная среда — ядра молекулярных облаков, протозвезды, протогалактики. Это связано с тем, что в субмиллиметровом диапазоне обычно лежит максимум излучения холодной межзвёздной пыли, а также многие линии излучения молекул. По этой же причине космическое субмиллиметровое излучение испытывает сильное поглощение в атмосфере Земли и трудноразлично на фоне её излучения. Основным источником помех служат молекулы водяного пара. Поэтому наблюдения с поверхности Земли возможны только в высокогорных пустынных районах. Значительно эффективнее наблюдения из стратосферы и космического пространства.

Крупнейшие телескопы этого диапазона установлены на вершине Мауна-Кеа (4100 м, о. Гавайи): это 15-метровый рефлектор JCMT (James Clerk Maxwell Telescope, 1987), принадлежащий Великобритании, Канаде и Нидерландам, а также 10,4-метровый рефлектор Калифорнийского технологического института (Caltech Submillimeter Observatory, 1988). После того как два этих инструмента были успешно испытаны в режиме интерферометра, рядом с ними в 2008 г. соорудили интерферометрическую систему SMA (Submillimeter Array), состоящую из восьми 6-метровых рефлекторов, работающих в диапазоне 0,3–1,7 мм. Базы между парами антенн составляют от 16 до 509 м, а при уча-

стии всех десяти антенн (SMA + JCMT + CSO) максимальная база достигает 783 м.

Весьма перспективным местом для субмиллиметровой астрономии считается район Южного полюса в Антарктиде. С 1994 по 2005 г. там на станции Амундсен-Скотт на высоте 2,8 км работал 1,7-метровый телескоп AST/RO (Antarctic Submillimeter Telescope and Remote Observatory), проводивший наблюдения в диапазоне волн 0,2–2,0 мм. Он имел четыре гетеродинных приёмника и три оптико-акустических спектрометра. В 2007 г. его заменил 10-метровый телескоп SPT (South Pole Telescope). Его основной задачей стало наблюдение реликтового излучения в интересах космологии.

В 2012 г. на плато Чакантор (5060 м, пустыня Атакама, Чили) вступила в строй грандиозная интерферометрическая система ALMA (см. *Большая миллиметровая антенная решётка в Атакаме*). По всем параметрам она во много раз превосходит другие приборы.

Стратосферные субмиллиметровые обсерватории базируются на самолетах и аэростатах. Обсерватория SOFIA (Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy) создана NASA и Германским аэрокосмическим центром на базе самолёта Боинг-747, поднимающегося на высоту 12 км. С 2010 г. на его борту работает 2,5-метровый телескоп инфракрасного и субмиллиметрового диапазонов. Пример аэростатной обсерватории — BLAST (Balloon-borne Large Aperture Submillimeter Telescope), который с телескопом диаметром 2 м неоднократно поднимался в стратосферу из Северной Швеции и Антарктиды. Его балометрические матрицы измеряли реликтовое излучение и фон Галактики в диапазонах 250, 350 и 500 мкм.

Космические субмиллиметровые обсерватории также иногда выводятся на орбиту. Первой из них был небольшой спутник SWAS (Submillimeter Wave Astronomy Satellite), построенный по заказу NASA и выведенный на околоземную орбиту 6 декабря 1998 г. крылатой ракетой «Пегас», запущенной с самолета «Старгейзер». Этот спутник оснащен телескопом Кассегрена с эллиптическим зеркалом 55 см × 71 см и приёмниками на диодах Шоттки. Основной его зада-

чей было наблюдение областей звездообразования и межзвёздных облаков в диапазоне 540–610 мкм, а точнее — в пяти спектральных линиях: воды (H_2O), изотопа воды (H_2^{18}O), изотопа окиси углерода (^{13}CO), молекулярного кислорода (O_2) и нейтрального атома углерода (C I). Срок службы SWAS был рассчитан на 2 года, но и после этого он использовался, например, в 2005 г. для наблюдения кометы Темпель 1 (9P/Tempel 1) во время эксперимента Deep Impact.

Некоторую долю субмиллиметрового диапазона покрывал космический телескоп «Спитцер» (NASA, 2003), наблюдавший в диапазоне 3–180 мкм, пока в 2009 г. у него не истощился жидкий гелий, охлаждающий длиноволновые приёмники. А с 2009 г. вступил в строй крупный телескоп «Гершель» (Herschel Space Observatory, ESA при участии NASA), наблюдающий в диапазоне 60–672 мкм с зеркалом диаметром 3,5 м. Этот спутник работал до 29 апреля 2013 г. на околосолнечной орбите, совершая колебания в окрестности точки Лагранжа L2 системы Земля — Солнце, на расстоянии 1,5 млн км от Земли.

СУМЕРЕЧНОЕ ЗРЕНИЕ — видение при низком уровне освещённости, основой которого служит работа палочек сетчатки глаза. Противопоставляется дневному зрению, основой которого служит работа цветочувствительных колбочек сетчатки глаза.

СУМЕРКИ — период плавного перехода от дневного света к ночной темноте и обратно. Это время суток, когда Солнце находится под горизонтом (перед рассветом или после заката), но ещё или уже виден солнечный свет, рассеянный в верхних слоях земной атмосферы. Сумерки наблюдаются на любой планете, имеющей атмосферу.

Продолжительность сумерек определяется промежутком времени между заходом Солнца и временем, когда надо прибегать к искусственному освещению; зависит от географической широты места, сокращаясь с приближением к экватору. При ясном небе гражданские сумерки заканчиваются, когда Солнце опускается на 6° под горизонт; в этот момент становится трудно различать окружающие предметы и требуется включать искусственное освещение. На-

вигационные сумерки заканчиваются, когда Солнце опускается на 12° под горизонт; в этот момент на чистом небе становятся видны яркие (навигационные) звёзды. А когда Солнце опускается на 18° , заканчиваются астрономические сумерки и окончательно наступает ночь.

СУТКИ — единица времени, равная 86 400 секундам. Такое определение сутки получили с тех пор, как появилась техническая возможность (атомные часы) для не зависящего от вращения Земли и более точного определения секунды. Сутки можно выразить и в единицах времени производных от секунды: 1 сутки = 1440 минут = 24 часа.

Прежде сутки определяли, исходя из астрономических наблюдений, как интервал времени между двумя последовательными верхними кульминациями избранной точки на небесной сфере. Для звёздных суток это была точка весеннего равноденствия, для истинных солнечных суток — центр солнечного диска, для средних солнечных суток — расчётная точка положения среднего солнца. В современной астрономии эти понятия по-прежнему используют, но уже не являются единицами времени.

Из-за неравномерности вращения Земли длительность как звёздных, так и средних солнечных суток непостоянна (в отличие от суток, содержащих 86 400 с, заданных атомным стандартом времени). В среднем вращение Земли замедляется: сутки удлиняются приблизительно на 0,002 секунды за столетие. Чтобы счёт времени по атомным часам не расходился со сменой времени суток (день/ночь) и сменой времён года, приходится иногда уменьшать показания атомных часов. Сейчас уменьшение делают ровно на одну секунду, если вращение Земли «отстаёт» на 0,9 с или меньше. Это делается в конце календарных суток (по Гринвичу) 31 июля или 31 декабря. Последний раз «лишняя секунда» (англ. leap second) была изъята из непрерывного счёта атомных секунд в ночь с 31 декабря 2008 г. на 1 января 2009 г. Но для большинства практических целей можно считать, что сутки среднего солнечного времени равны стандартным суткам.

СУТКИ, ЗВЁЗДНЫЕ — промежуток времени между двумя последовательными верх-

ними кульминациями точки весеннего равноденствия. Равен 23 час 56 мин 04,09 сек среднего солнечного времени. В тропическом году звёздных суток ровно на единицу больше, чем средних солнечных, т. е. их 366,2422. Из-за прецессии звёздные сутки приблизительно на 0,01 секунды короче суток точного периода вращения Земли. Длительность звёздных суток немного изменяется вследствие нутации (т. е. покачивания земной оси), а также вследствие покачивания тела Земли относительно оси её вращения (движение полюсов) и ещё из-за неравномерности вращения Земли вокруг оси. Эти изменения составляют менее 0,001 с.

Звёздные сутки делятся на звёздные часы, минуты и секунды. Звёздные сутки на 3 мин 56 сек короче средних солнечных суток. Звёздный час короче общепринятого на 9,86 с. Как единица времени употребляются в редких случаях при организации астрономических наблюдений. Для непрерывного счёта звёздных суток служит гринвичская звёздная дата (GSD).

СУТКИ, ИСТИННЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ — промежуток времени между двумя последовательными одноимёнными (например, нижними) кульминациями центра солнечного диска на одном и том же географическом меридиане. Продолжительность истинных солнечных суток в течение года изменяется приблизительно от 86 378 с до 86 430 с, т. е. от 23 час 59 мин 38 с до 24 час 00 мин 30 с. Это происходит из-за неравномерности годичного движения Солнца по эклиптике, а также из-за наклона эклиптики к экватору.

СУТКИ, КАЛЕНДАРНЫЕ — промежуток времени, равный 86 400 с. В большинстве стран начало суток приходится на 0 часов, т. е. на полночь. Но это не всегда было так: в библейские времена, в Древней Греции и Иудее, а также в некоторые другие эпохи, начало дня приходилось на вечернее время. У римлян в различные периоды их истории начало дня приходилось на разное время суток. В астрономии до 1925 г. началом календарных суток считался полдень, 12 часов.

СУТКИ, СОЛНЕЧНЫЕ — интервал времени между двумя последовательными прохождениями Солнца через меридиан. Если бы видимое движение Солнца определялось

только вращением Земли вокруг своей оси, то оно происходило бы очень равномерно. Но наблюдаемое движение Солнца отражает также неравномерное движение Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите и наклон земной оси к эклиптике. Поэтому различают истинные солнечные сутки, заданные неравномерным видимым движением Солнца по небу (их можно отсчитывать по солнечным часам), и средние солнечные сутки, заданные математически вычисленным равномерным движением «среднего солнца». В отличие от истинных, средние солнечные сутки имеют постоянную длину, поэтому именно они до недавнего времени использовались при измерении времени в быту и науке. Ныне используются ещё более равномерные сутки, основанные на атомном стандарте времени.

СУТКИ, СРЕДНИЕ СОЛНЕЧНЫЕ — промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего экваториального солнца (это условная точка, движущаяся вдоль небесного экватора с постоянной скоростью равной средней скорости истинного Солнца). Употреблялись как единица времени в астрономии до 1976 г. Длина средних солнечных суток с высокой точностью близка к 86 400 с. В тропическом году около 365,2422 средних солнечных суток.

СУТОЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ — кажущееся перемещение небесных светил с востока на запад в течение суток вследствие вращения Земли с запада на восток.

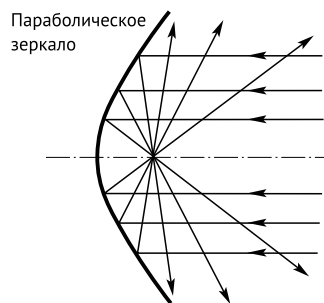
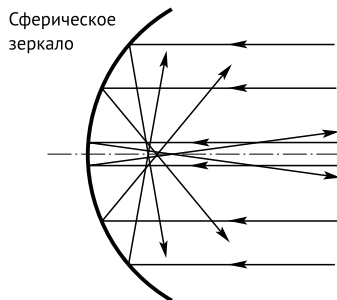
СУТОЧНЫЙ ПАРАЛЛАКС — изменение видимого положения небесного светила в течение суток вследствие изменения положения наблюдателя при вращении Земли (см.: Параллакс). Максимальное значение суточного параллакса, называемое горизонтальным параллаксом (поскольку в этом случае объект находится на математическом горизонте наблюдателя), для некоторых из числа ближайших объектов составляет:

Луна	57' 03" (среднее значение)
Солнце	8,8"
Венера	32" (наибольший)
Марс	23" (наибольший)
Юпитер	2,1" (наибольший)

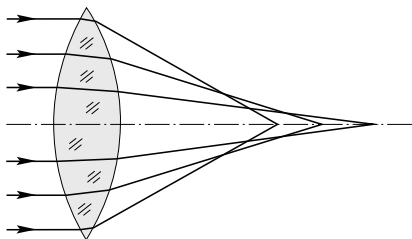
Фактически горизонтальный параллакс равен угловому радиусу Земли, видимому от указанного светила.

СФЕРА ВЛИЯНИЯ ПЛАНЕТЫ — область, в которой притяжение планеты доминирует над солнечным. Точный смысл придается конкретизацией понятия «доминирует». В зависимости от неё различают сферу тяготения, сферу действия и др.

СФЕРИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ — размытие изображения, построенного зеркалом или линзой со сферической поверхностью. Сферическая абберрация возникает потому, что для параллельных лучей, падающих на объектив на разном расстоянии от его оптической оси, точки фокуса не совпадают. Поэтому изображение точечного объекта, где бы мы ни разместили экран, получается не в виде точки, а в виде пятна. Сферическая абберрация — единственная геометрическая абберрация, остающаяся и в том случае, если точка-объект находится на главной оптической оси системы. Распределение освещённости в пятне рассеяния таково, что в центре получается острый максимум при быстром уменьшении освещённости к краю пятна. У зеркального объектива этот де-



Сферическая абберрация сферического зеркала (вверху). Параболическое зеркало лишено этого недостатка.



Сферическая абберация простой линзы

фект устраняется переходом от сферической формы зеркала к параболической: параболоид не обладает сферической абберацией, он строит точечное изображение далёкого источника, лежащего на оптической оси. Сферическая абберация линзового объектива устраняется корректировкой («ретушью») поверхности линзы или переходом от одиночной линзы к сложной многолинзовой системе.

СФЕРИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ, или **сферический компонент** — элемент структуры спиральных галактик; представляет собой сферическую или эллипсоидальную область, заполненную относительно старыми звёздами, движущимися по вытянутым орбитам и сильно концентрирующимися к центру, совпадающему с центром диска галактики. Обычно простирается значительно дальше диска и в порядке удаления от центра и уменьшения плотности подразделяется на ядро, балдж, гало и корону. Единственный структурный элемент сферической составляющей — шаровые скопления звёзд, встречающиеся во всем её объёме за исключением ядра. Межзвёздный газ в ней крайне разрежен и горяч.

Т

ТАУРИДЫ — ежегодный довольно слабый метеорный поток (около 10 метеоров в час), двойной радиант которого лежит в созвездии Телец. Поток наблюдается с 26 октября по 22 ноября с максимумами 2 и 12 ноября. Поток связан с кометой Энке. Метеоры медленные: геосцентрическая скорость частиц около 30 км/с.

ТЕКТИТЫ — природные стекла чёрного или тёмно-зелёного цвета. Хорошо проплавлен-

ны и в отличие от других естественных стекол — обсидианов и фульгуритов — не содержат включений микрокристаллов. Тектиты встречаются фрагментами весом от долей грамма до килограммов (в среднем — десятки граммов). Их формы разнообразны: каплевидные «слёзки», гантели, лодочки, обрамленные фланцами «пуговицы», диски, полые тонкостенные шары и др. Часто напоминают застывшие вязкие капли, испытывавшие при движении сопротивление среды, например воздуха при полёте в атмосфере. Поверхность многих тектитов носит следы воздействия высокоскоростных газовых потоков. Их химические и петрографические особенности указывают, что они образовались в результате высокотемпературного плавления ($T > 2000$ К), причём охлаждение расплава было быстрым. Тектиты имеют аморфную структуру. Диапазон их состава невелик: они содержат 68–82% SiO_2 , 10–15% Al_2O_3 и чрезвычайно мало воды, около 0,02%. В химическом отношении они не напоминают ни одно из общеизвестных земных или внеземных веществ.

Встречаются тектиты не везде; они образуют четыре поля рассеяния: в Европе (Чехия), Северной Америке (штаты Джорджия и Техас), Африке (Кот-д'Ивуар) и наиболее крупное Австрало-азиатское поле длиной 10 тыс. км и шириной 4000 км, протянувшееся по дуге большого круга от Тасмании до Индокитая. Возраст тектитов, как правило, не превышает 35 млн лет; у тектитов Австрало-азиатского поля он составляет 0,7 млн лет.

Геологи считают тектиты «наиболее загадочными среди всех камней, когда-либо найденных на Земле». Главная загадка тектитов — где они образовались: в космосе или на Земле? Хотя их состав довольно близок к земным осадочным породам и в принципе мог бы быть объяснен их переплавлением, связать поля тектитов с ударными кратерами в большинстве случаев не удаётся. Единственный метеоритный кратер, в котором найдены тектиты, — это кратер Жаманшин вблизи Аральского моря. Он лежит на дуге Австрало-азиатского поля и часть его тектитов чрезвычайно схожа с вьетнамскими тектитами из этого же поля.

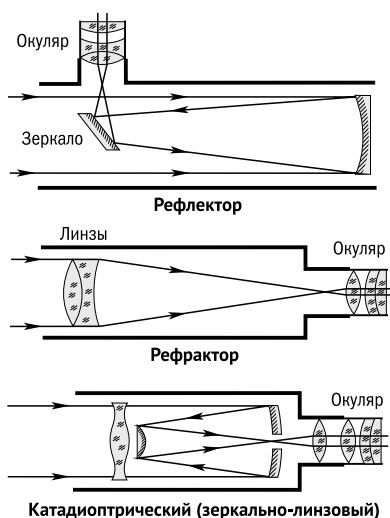
Среди гипотез о происхождении тектитов отметим две: ударная гипотеза (падение метеорита и разлет капель расплава) и гипотеза доставки тектитов в ядре кометы, взорвавшейся при входе в атмосферу Земли. Вторая гипотеза более популярна и в принципе может быть проверена при анализе вещества ядер комет и астероидов, которые иногда также являются «спящими» ядрами короткопериодических комет.

ТЕЛЕСКОП — прибор для регистрации излучения и получения изображений небесных светил. Обычно этот термин используется для приборов, работающих в оптическом и радиодиапазонах, причём в последнем случае чаще употребляется термин «радиотелескоп». Оптический телескоп появился в начале XVII в., его создателем считается Г. Галилей (1609). Основой оптического телескопа могут служить либо линзы (телескоп-рефрактор), либо зеркала (телескоп-рефлектор), либо комбинация тех и других (катадиоптрический телескоп).

Радиотелескоп был создан в середине XX в. Его основой служит либо металлический концентратор радиоизлучения, фокусирующий его путём отражения на приёмной антенне, либо система из множества однотипных антенн, соединённых в общую цепь. Инфракрасные телескопы сходны по конструкции с оптическими рефлекторами и радио-рефлекторами, но их приёмная часть, а иногда и весь телескоп, охлаждают до низкой температуры.

Термин «телескоп» часто используется также для приборов, не являющихся телескопами в прямом смысле, т. е. не формирующих изображение, а предназначенных лишь для детектирования потока излучения от источника. Было бы более корректно называть их детекторами, поскольку они не концентрируют частицы или излучение, и зачастую вообще не являются координатно-чувствительными. Однако усовершенствование этих приборов постепенно позволяет включать их в семейство телескопов: например, рентгеновский детектор с появлением оптики косого (скользящего) падения превратился в рентгеновский телескоп.

Детекторы нейтрино, основанные на эффекте Черенкова, определяют направле-



Типы телескопов

ние прихода частиц. Системы из удалённых друг от друга гравитационно-волновых детекторов, используя эффект запаздывания сигнала, также определяют направление на источник.

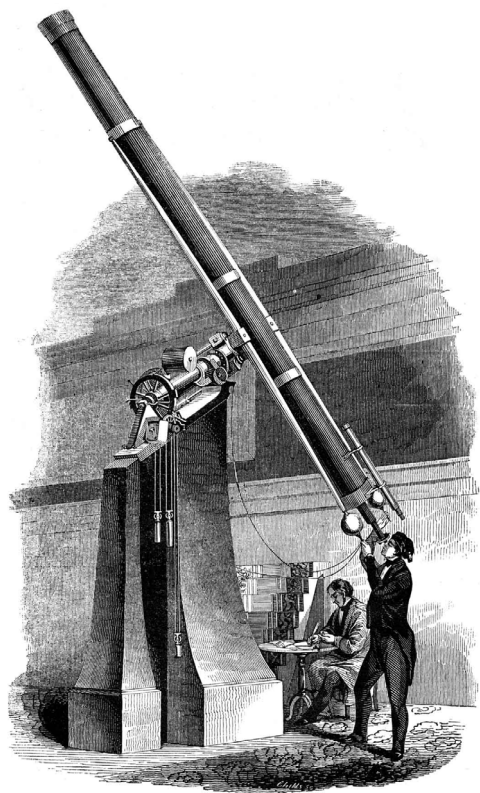
В последнее время телескопами стали называть даже несвязанные системы приборов, занятых одновременным наблюдением одного и того же объекта. Например, межконтинентальный радиоинтерферометр — это несколько отдельных радиотелескопов, размещённых в тысячах километров друг от друга и принадлежащих разным организациям и даже разным странам. Они проводят согласованные одновременные наблюдения радиоисточника, записывая полученный сигнал и точные метки времени от атомных часов на магнитный диск, а затем эти записи свозят в одну лабораторию и обрабатывают так, как будто наблюдал один гигантский радиотелескоп, состоящий из нескольких частей. В 2019 г. в результате работы такой системы, названной «Телескоп горизонта событий» (Event Horizon Telescope), впервые было получено изображение непосредственной окрестности гигантской чёрной дыры в центре галактики M87.

ТЕЛЕСКОП — южное созвездие, введенное Н. Лакайлем. Воистину, без хорошего телескопа в нём немного увидишь. Границы этого созвездия как будто бы специально проведены так, чтобы избежать ярких звёзд.

Самая яркая из его звёзд (α Tel) имеет блеск 3,5^m. Зато с телескопом там многое можно изучить. Весьма любопытна звезда RR Tel, чья 387-суточная переменность блеска продолжалась даже в период новоподобной вспышки, которая началась в 1944 г. и длилась необычайно долго — 6 лет! Возможно, это двойная система, в которой крупная красная звезда демонстрирует регулярную переменность блеска, а компактная горячая звезда ответственна за вспышки новой. Такие системы называют «симбиотическими звёздами».

ТЕЛЕСКОП, история развития. История оптического телескопа насчитывает 400 лет и прямо связана с прогрессом техники в эпоху Возрождения. Стекло было известно египтянам ещё в 3800 г. до н. э., но оптические свойства стекла были полностью оценены лишь в эпоху Средневековья. Очки появились в Италии около 1300 г., а к началу XVI в. оптические центры возникли в Германии и Голландии. Первый телескоп был сделан в Голландии в 1608 г.; кажется, Ганс Липперсгей был первым, кто применил комбинацию линз. Весной 1609 г. Галилей узнал о голландском изобретении и, не имея детального описания, сам за несколько недель разработал конструкцию и построил телескоп. Направив инструмент на небо, Галилей открыл новую эру в наблюдательной астрономии.

Конструкция телескопов-рефракторов быстро совершенствовалась, но все они страдали хроматической аберрацией: лучи разных цветов фокусировались на разном расстоянии от объектива. Около 1663 г. Исаак Ньютон обратился к зеркальным системам, поскольку лучи любого цвета отражаются от зеркала одинаково. Так началось развитие телескопов-рефлекторов. Около 1664 г. Джеймс Грегори предложил телескоп с главным параболическим зеркалом и вспомогательным эллиптическим. Эта схема была свободна не только от хроматической, но и от сферической аберрации. Но изготовить столь сложные зеркальные поверхности Грегори не смог. Ньютон разработал методы шлифовки и полировки сложных зеркал. В 1668 г. он построил первый телескоп-рефлектор длиной все-



Классический 11-дюймовый телескоп-рефрактор фирмы «Merz and Mahler», установленный в обсерватории г. Цинциннати (США) в 1843 г. Возможно, это старейший действующий телескоп: он до сих пор (2020) систематически используется для публичных наблюдений.

го 16 см с параболическим зеркалом диаметром 3 см. Упростив схему Грегори, он с помощью маленького плоского зеркала вывел фокус главного зеркала наружу сквозь отверстие в трубе телескопа. Ньютон делал зеркала из оптической бронзы, сплава меди с оловом, называемого «спекулум» за блеск, сравнимый с блеском серебра. К сожалению, этот сплав из-за присутствия меди быстро тускнеет и требует переполитовки. Но его использовали для астрономических зеркал вплоть до 1850 г., когда изобрели метод серебрения стекла.

В течение XVIII в. наблюдался быстрый прогресс в изготовлении рефлекторов. Вильям Гершель создал в 1789 г. крупнейший по тем временам однозеркальный телескоп по своей системе, предложенной в 1776 г.,

с зеркалом диаметром 122 см и фокусным расстоянием 12 м. Но в эти же годы постепенно совершенствовалась и конструкция рефракторов. Важнейшим событием стало открытие ахроматического объектива, составленного из двух линз — выпуклой из легкого стекла крона и вогнутой из тяжёлого флинта; такой «дублет» имеет значительно меньшую хроматическую аберрацию.

Современные телескопы-рефракторы мало изменились с той эпохи, достигнув в конце XIX в. своего максимального диаметра в 1 м: линзы большего размера прогибаться под собственным весом. Зато телескопы-рефлекторы продолжают свой рост. Крупнейшим телескопом в мире с 1919 по 1948 гг. был 2,5-метровый рефлектор на обсерватории Маунт-Вилсон (шт. Калифорния). В 1948 г. был создан и до 1974 г. оставался крупнейшим в мире 5-метровый рефлектор на обсерватории Маунт-Паломар (шт. Калифорния). С 1974 по 1991 гг. крупнейшим был 6-метровый рефлектор БТА Российской академии наук, установленный в Специальной астрофизической обсерватории на Северном Кавказе. Это первый телескоп, установленный на альт-азимутальной монтировке, имеющей вертикальную и горизонтальную оси вращения. Теперь по такой схеме строят все крупные телескопы.

В последние годы созданы телескопы нового поколения с апертурой 8–10 м. Если бы зеркало такого диаметра изготавливалось по старой технологии, оно весило бы сотни тонн. Поэтому главное зеркало делается либо составным из нескольких небольших зеркал, либо столь тонким, что оно само не может поддерживать свою форму и требует специальной механической системы. Крупнейшими однообъективными сейчас являются 10-метровые телескопы-близнецы Кек I и Кек II, установленные в обсерватории Мауна-Кеа (о. Гавайи), а также 10,4-метровый Большой канарский телескоп на о. Ла-Пальма. Их зеркала собраны из 36 шестиугольных элементов диаметром по 2 м. См. также *Большой бинокулярный телескоп*.

ТЕЛЕСКОП-РЕФЛЕКТОР — см. *Рефлектор*.

ТЕЛЕСКОП-РЕФРАКТОР — см. *Рефрактор*.

ТЕЛЕСКОП ГАЛИЛЕЯ — телескоп-рефрактор, в котором в качестве окуляра использу-

ется рассеивающая (отрицательная) линза. Впервые телескоп этой системы был сделан и использован для астрономических наблюдений Галилео Галилеем (1564–1642) в 1609 г. Телескоп Галилея даёт прямое изображение, но имеет небольшое поле зрения. В настоящее время такая система представляет лишь исторический интерес и практически используется только в театральных биноклях, дающих увеличение в 2–4 раза.

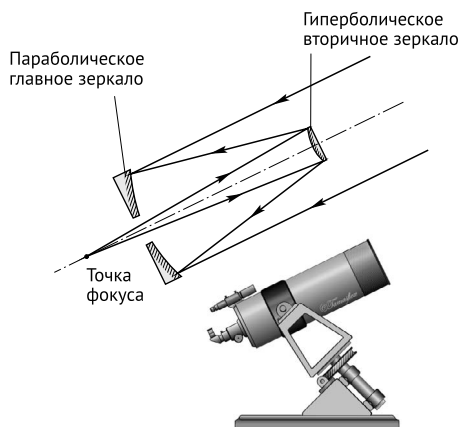
ТЕЛЕСКОП ГЕРШЕЛЯ — вариант системы телескопа-рефлектора, использовавшийся Вильямом Гершелем (1738–1822) и другими астрономами. У этого телескопа главное зеркало установлено чуть наклонно, так что точка фокуса находится вне проходящего параллельного пучка лучей, на краю входной апертуры телескопа. Таким образом, телескоп системы Гершеля позволяет обходиться без вторичного зеркала, что заметно уменьшает потери света. Эта система была изобретена в ту эпоху, когда зеркала телескопов изготавливали из зеркальной бронзы. Свежеотполированное металлическое зеркало имеет коэффициент отражения не более 60%, поэтому телескоп с двумя металлическими зеркалами, например системы Ньютона или Кассегрена, доносил до наблюдателя только 36% проходящего света.

Хотя наклон главного зеркала вносит сильные аберрации и существенно ухудшает качество изображения, возможность получить выигрыш по собранному свету была в то время доминирующим фактором. Для снижения влияния аберраций Гершель строил свои телескопы с небольшими относительными отверстиями (1:10 и менее). Несмотря на явное несовершенство, с этими телескопами удалось совершить немало замечательных открытий.

В России телескоп с наклонным главным зеркалом независимо в 1762 г. предложил М. В. Ломоносов (1711–1765).

ТЕЛЕСКОП КАССЕГРЕНА — зеркальный телескоп, изобретённый Г. Кассегреном в 1672 г. В нём используются два элемента: параболическое главное зеркало и гиперболическое вторичное зеркало. Вторичное зеркало выпуклое. Большинство крупных современных рефлекторов имеют схему те-

телескопа Кассегрена или его апланатического варианта — телескопа Ричи — Кретьена.



Телескоп Кассегрена

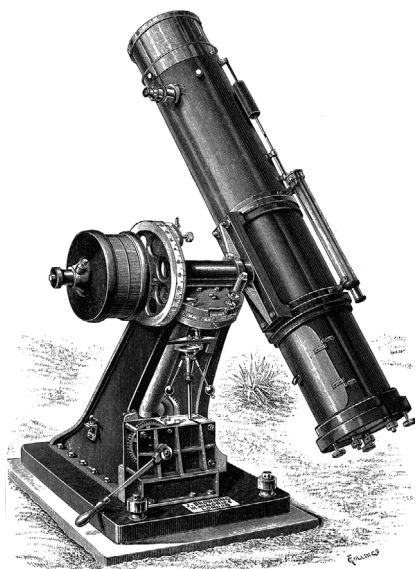
ТЕЛЕСКОП МАКСУТОВА — катадиоптрический (зеркально-линзовый) телескоп, в котором используется сферическое главное зеркало, корректирующий линзовый элемент со сферическими поверхностями (мениск), и вторичное зеркало, представляющее собой алюминированный участок в центре второй поверхности мениска. Такая система даёт превосходные изображения вблизи оптической оси, однако внешние части поля зрения подвержены влиянию комы. Эту оптическую систему изобрёл в 1941 г. советский оптик Дмитрий Дмитриевич Максутов (1896–1964). Примерно тогда же описание аналогичной оптической системы опубликовал Альберт Бауэрс.

ТЕЛЕСКОП НЬЮТОНА — телескоп-рефлектор, изобретённый и построенный Исааком Ньютоном в 1668 г. В качестве объектива Ньютон использовал вогнутое параболическое зеркало. Вторичное зеркало телескопа плоское, установлено под углом 45° к оптической оси. После отражения от вторичного зеркала лучи собираются в фокусе, расположенном снаружи в верхней части трубы телескопа.

ТЕЛЕСКОП «ХЕЙЛ» — оптический телескоп со сплошным облегчённым зеркалом диаметром 5 м (200 дюймов), установленный в 1948 г. в обсерватории Маунт Паломар, на юге шт. Калифорния (США), на высоте 1700 м. Телескоп может работать в прямом фокусе, а также в фокусах Кассе-

грена и куде. Телескоп назван в честь выдающегося американского астронома и организатора науки Джорджа Эллери Хейла (G. E. Hale, 1868–1938), по инициативе которого был создан этот инструмент, сама обсерватория Маунт Паломар, а также многие другие крупные телескопы, обсерватории и институты.

ТЕЛЕСКОПЫ «КЕК» — два оптических телескопа-близнеца с мозаичными главными зеркалами диаметром 10 м, установленные альт-азимутальных монтировках на расстоянии 85 м друг от друга в помещении Обсерватории «Кек» (W. M. Keck Observatory) на вершине горы Мауна-Кеа (о. Гавайи, США) на высоте 4145 м. Телескопы вступили в строй в 1993 (Keck I) и 1996 (Keck II) годах и до 2008 г. оставались крупнейшими в мире. Главное зеркало каждого телескопа собрано из 36 шестиугольных сегментов размерами около 2 м, относительное положение которых поддерживается системой активной оптики. Масса каждого телескопа около 300 т. После ввода в строй системы адаптивной оптики, компенсирующей атмосферные искажения, телескопы получили возможность работать совместно в режиме интерферометра. Угловое разрешение каждо-



Телескоп-рефлектор системы Ньютона на экваториальной монтировке с часовым механизмом, скорость которого поддерживается регулятором Уатта

го из телескопов составляет от 0,4" до 0,04", а в режиме интерферометра с базой достигает 0,024" на волне 10 мкм и 0,005" на волне 2,2 мкм. Строительство телескопов финансировалось фондом У. М. Кека, выделившим в 1985 г. 70 млн долларов.

ТЕЛЕЦ — зимнее зодиакальное созвездие, лежащее на пересечении зодиака с Млечным Путём, к северо-западу от Ориона. Созвездие красивое, крупное и богатое яркими звёздами. Согласно мифу, «телец» — это тот белый бык, на котором Европа переплыла море и попала к Зевсу на Крит. В Тельце два самых известных звёздных скопления — Плеяды и Гиады. Плеяды (М45) часто называют Семь Сестёр — красивое рассеянное скопление, одно из ближайших к нам (400 св. лет); оно содержит около 500 звёзд, окутанных еле заметной туманностью. Девять ярчайших звёзд, расположившихся на поле диаметром чуть более 1°, названы в честь титана Атласа, океаниды Плейоны и их семи дочерей (Альциона, Астеропа, Майя, Меропа, Тайгета, Целено, Электра). Зоркий глаз различает в Плеядах 6–7 звезд; вместе они выглядят как маленький ковшик. Наблюдение Плеяд в бинокль доставляет большое удовольствие. В древнейшем списке из 48 созвездий, составленном Евдоксом (IV в. до н. э.) и приведенном в поэме Арата, Плеяды выделены отдельным созвездием.

Еще ближе к нам (150 св. лет) расположено рассеянное скопление Гиады, содержащее 132 звезды ярче 9^м и ещё 260 более тусклых возможных членов. Звезды Гиад рассеяны на значительно большей площади, чем компактные Плеяды, поэтому производят меньшее впечатление. Но для астрономических исследований Гиады, по причине их близости, значительно важнее. Согласно мифу, Гиады — дочери Атласа и Эфры; они приходятся сводными сёстрами Плеядам. У восточного края Гиад лежит не относящаяся к ним яркая оранжевая звезда Альдебаран (α Tau), в переводе с арабского — «идущая вослед»; в наше время её часто называют Воловий Глаз. Блеск Альдебарана меняется от 0,75^м до 0,95^м; вместе со своим компаньоном, красным карликом 13^м, он удалён на 65 св. лет, т. е. располагается вдвое ближе к нам, чем Гиады.

Знаменитый астрофизический объект в Тельце — остаток взрыва сверхновой звезды 1054 г. — Крабовидная туманность (M1), расположенная на краю Млечного Пути, примерно на 1° к северо-западу от звезды ζ Tau. Её видимый блеск 8,4^м. Она удалена от нас на 6300 св. лет; её линейный диаметр около 6 св. лет и ежедневно увеличивается на 80 млн км. В центре Крабовидной туманности находится крохотная, но очень горячая голубая звезда 16^м; это знаменитый пульсар «Краб» — нейтронная звезда, 30 раз в секунду посылающая строго периодические импульсы электромагнитного излучения.

ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ — см. *Тёмное вещество*.

ТЁМНАЯ ЭНЕРГИЯ — гипотетическая форма энергии с необычными свойствами, которые в рамках ОТО приводят к появлению всеобщего гравитационного отталкивания. Предложена для объяснения ускоряющегося расширения Вселенной. Термин «тёмная энергия» (dark energy) был введен в 1995 г. в статье Майкла Тёрнера (Michael S. Turner) и Лоренса Кросса (Lawrence M. Krauss), в которой для согласования малого космологического возраста Вселенной с большим возрастом звёзд, а также высокой неоднородности Вселенной (скопления галактик) с низкой плотностью тёмного вещества (1/3 от критической) была высказана гипотеза, что около 2/3 критической плотности составляет энергия вакуума. Позже измерения показали, в тёмной энергии заключено около 74% плотности энергии Вселенной. Ещё 22% приходится на тёмную материю и лишь 4% — на все формы обычного (барионного) вещества, включая звёзды, планеты, межзвёздное вещество, излучение и свободные элементарные частицы (космические лучи).

ТЁМНОЕ ВЕЩЕСТВО, или **тёмная материя**, — вещество неизвестной природы, не излучающее и не поглощающее электромагнитное излучение, но проявляющее себя гравитационным взаимодействием с обычным (барионным) веществом и излучением (эффектом гравитационной линзы). Присутствие тёмного вещества особенно заметно на периферии крупных галактик и в скоплениях галактик, где его притяжение доминирует над притяжением обычного вещества, т. е. звёзд и межзвёздного газа. До-

ля тёмного вещества в средней плотности Вселенной около 26%. Астрономы часто называют тёмное вещество «скрытой массой» галактик, хотя оно в большом количестве присутствует и в межгалактическом пространстве.

ТЕОРЕМА ВИРИАЛА — теорема механики о связи между средним значением суммарной кинетической энергии системы частиц, движущихся в ограниченной области пространства, и действующими в этой системе силами, установлена нем. физиком Р. Клаузиусом (1870). В астрономии существен случай гравитационных сил; при этом теорема вириала формулируется так: для всякого гравитационно связанного тела (системы) его средняя по времени потенциальная гравитационная энергия

$$U_G = -2E_{\text{кин}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{кин}}$ — средняя по времени кинетическая энергия движения частиц тела (системы). Часто теорему вириала формулируют так: у стабильной гравитационно связанной системы частиц полная кинетическая энергия составляет (по модулю) половину потенциальной энергии.

Следует подчеркнуть, что в выражение (1) не входит внутренняя энергия частиц (например, энергия их вращения или внутренняя энергия атомов или молекул, если рассматривается газ).

Применение этой теоремы в астрономии обусловлено тем, что она позволяет через величину гравитационной энергии связать массу системы с кинетической энергией частей этой системы (в системе отсчёта, относительно которой система как целое неподвижна). Поскольку гравитационная энергия системы U_G по порядку величины составляет $-GM^2/R$, где M — масса системы, R — её размер (радиус), G — гравитационная постоянная, а средняя кинетическая энергия системы $E_{\text{кин}} = Mv_{\text{ср}}^2/2$ (где $v_{\text{ср}}^2$ — среднеквадратичная скорость членов системы), то из формулы (1) следует:

$$M \approx v_{\text{ср}}^2 R/G. \quad (2)$$

Если из наблюдений известны $v_{\text{ср}}^2$ и R , то выражение (2) позволяет оценить массу системы. Этот метод применим, например, для

оценки масс звёздных скоплений, галактик и компактных скоплений галактик. При рассмотрении строения звёзд теорема вириала позволяет оценить среднюю температуру звезды. Для этого в формулу (2) подставляют значение среднеквадратичной скорости, выраженное через температуру:

$$v_{\text{ср}}^2 = 3kT/m,$$

где m — масса частицы газа. Тогда из (2) следует:

$$T = GmM/kR. \quad (3)$$

Полная энергия звезды, как следует из (1),

$$E = E_{\text{кин}} + U_G = -E_{\text{кин}} = U_G/2. \quad (4)$$

Из (4) видно, что $\Delta E = -\Delta E_{\text{кин}}$, т. е. сообщение звезде энергии уменьшает кинетическую энергию её частиц и, наоборот, излучение энергии приводит к росту $E_{\text{кин}}$ и температуры звезды. Если источником энергии звезды служит её постепенное сжатие под действием сил гравитации (это соответствует определённым этапам эволюции звёзд), то выделяющаяся гравитационная энергия распределяется следующим образом. Половина её, согласно (1), идёт на увеличение $E_{\text{кин}}$ и температуры звезды: $-\Delta U_G/2 = \Delta E_{\text{кин}}$. Вторая половина ΔU_G идёт на излучение: $\Delta E_{\text{изл}} = -\Delta E_{\text{кин}} = \Delta U_G/2$.

ТЕОРИЯ СТРУН — физическая теория, в которой постулируется, что фундаментальными объектами в природе являются не точечные частицы, а крошечные одномерные нити, называемые струнами. В этой теории разные элементарные частицы являются различными колебательными модами струны. В теории струн естественным образом сочетаются квантовая механика и общая теория относительности, являющиеся во всех других случаях несовместимыми. Часто «теорией струн» для краткости называют теорию суперструн, которая является суперсимметричным обобщением теории струн. Суперсимметрия связывает свойства частиц с целым спином (бозонов) со свойствами частиц с полуцелым спином (фермионов).

ТЕПЛОВАЯ ВСПЫШКА В ГЕЛИЕВОМ СЛОЕВОМ ИСТОЧНИКЕ — тепловая неустойчивость в невырожденных гелиевых слоевых источниках звёзд. Характерна для звёзд

на асимптотической ветви сверхгигантов. У звёзд разной массы таких всплеск происходит до нескольких десятков на протяжении от десятков до сотен тысяч лет.

ТЕРМИНАТОР — граница между дневным и ночным полушариями Луны, планеты или естественного спутника планеты. У идеального шара терминатор имеет форму половины эллипса, соединяющего концы его большой оси. В предельных случаях это полукруг или прямая линия. У реальных планет из-за неровности их поверхности терминатор при его наблюдении в телескоп демонстрирует сложную форму, особенно в областях с пересечённым рельефом (горы, каньоны). В области терминатора солнечные лучи падают под малым углом к поверхности планеты, образуя длинные тени, что облегчает изучение рельефа.

ТЕРМОСФЕРА — область верхней атмосферы Земли на высотах приблизительно от 100 до 500 км с положительным градиентом температуры, т. е., чем выше, тем горячее. Термосфера заключена между мезосферой (внизу) и экзосферой (вверху). Границы этих областей определены не особенно четко и могут колебаться в зависимости от активности Солнца и способа определения. Нижняя граница термосферы может опускаться до 90 и даже 80 км, а верхняя граница лежит в диапазоне от 500 до 1000 км.

Температура воздуха в термосфере может варьироваться от 200 К до 2000 К в зависимости от степени солнечной активности. Причиной является поглощение ультрафиолетового излучения Солнца на высотах от 150 до 300 км, обусловленное ионизацией атмосферного кислорода. В нижней части термосферы рост температуры в сильной мере обусловлен энергией, выделяющейся при рекомбинации (объединении) атомов кислорода в молекулы. При этом в энергию теплового движения частиц превращается энергия солнечного УФ-излучения, поглощённая ранее при диссоциации молекул O_2 .

Все пилотируемые полёты на околоземных орбитах происходят в пределах термосферы. Ниже летать нельзя: торможение о плотные слои атмосферы не позволит кораблю сделать и одного оборота вокруг Земли. А выше 500 км простираются радиа-

ционные пояса Земли, оказывающие на людей губительное действие. Многие искусственные спутники также движутся в пределах термосферы, поскольку низкие орбиты предпочтительны для решения важных задач (наблюдение за поверхностью Земли, телефонная связь и т. п.). Однако ввиду крайней разреженности газа в термосфере её высокая температура не грозит космическому аппарату существенным нагревом.

ТЕРМОЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ — элементарная ядерная реакция, происходящая в ходе термоядерного синтеза в горячей плазме, частицы которой хаотически распределены по скоростям (в отличие от частиц, разогнанных в ускорителе).

ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ — энергия, выделяющаяся в результате термоядерных реакций. Часто при этом имеется в виду только тепловая энергия, выделяющаяся в виде кинетической энергии частиц (за исключением нейтрино) и гамма-квантов, а уносимая потоком нейтрино энергия не учитывается.

ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ — цепочка ядерных реакций, происходящих в горячей плазме и приводящих к слиянию легких атомных ядер и образованию ядер более тяжёлых элементов. Энергия, необходимая для преодоления кулоновского барьера при сближении ядер черпается из кинетической энергии их хаотического теплового движения. В результате выделяется ядерная энергия связи, часть которой при этом переходит в тепло, например в форме быстрых нейтронов и γ -квантов, другую часть уносят нейтрино.

ТИТАН (S VI, Titan) — естественный спутник Сатурна. Голландский астроном Х. Гюйгенс открыл его 25 марта 1655 г. Титан стал пятым открытым спутником планет (не считая Луны). Первыми четырьмя были Галилеевы спутники Юпитера.

Большая полуось орбиты Титана 1221,87 тыс. км. Орбитальное движение прямое (в направлении вращения планеты). Орбитальный период 15,945 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0288. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,35°. Радиус Титана 2576 км ($= 0,4$ радиуса Земли $= 1,5$ радиуса Луны). Масса $1,345 \cdot 10^{23}$ кг. Средняя плотность 1,88 г/см³. Ускорение свободно-

го падения у поверхности $1,35 \text{ м/с}^2$. Вторая космическая скорость у поверхности $2,64 \text{ км/с}$. Суточное вращение синхронизовано с орбитальным. Ось вращения перпендикулярна плоскости орбиты. Альbedo 0,22. Видимый блеск $8,3^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $3'22''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности 94 К . Давление атмосферы у поверхности $147 \text{ кПа} \approx 1,5 \text{ бар} \approx 1,5 \text{ атм}$. Состав верхних слоёв атмосферы (стратосферы): $98,4\%$ азота (N_2), $1,4\%$ метана (CH_4). Состав нижних слоёв атмосферы (тропосферы): 95% азота (N_2), $4,9\%$ метана (CH_4).

Титан — единственный (кроме Луны) спутник планеты, на поверхность которого до 2012 г. опускался исследовательский зонд: 14 января 2005 г. посадочный аппарат «Гюйгенс», достигший системы Сатурна в составе межпланетной миссии «Кассини–Гюйгенс» (NASA, ESA), вошёл в атмосферу Титана, два часа спускался на парашюте и два часа работал на поверхности. Данные о Титане поступали также благодаря орбитальному зонду «Кассини», который, двигаясь по орбите вокруг Сатурна, совершал сближения с Титаном (порой почти касаясь его атмосферы). Получено множество оптических и радиолокационных изображений поверхности, показавших неожиданно богатое разнообразие ландшафтов спутника. В горных областях видны сухие речные русла. Многие низменности похожи на сухие морские впадины.

Хотя на поверхности Титана нет жидкой воды, там имеются большие озёра жидкого метана и этана. Испаряясь, эти жидкости собираются в облака, периодически выпадают в виде проливных дождей и большими реками стекают в озёра: происходит круговорот метана, аналогичный круговороту воды на Земле. Титан привлекает внимание экзобиологов, поскольку у него есть не только азотная атмосфера с органическими компонентами, но и твёрдая поверхность, где могут скапливаться продукты синтеза. Правда, температура этой поверхности (-180°C) скорее подходит для сжигения кислорода. Но условия для жизни могут быть более благоприятными в недрах Титана, поскольку на

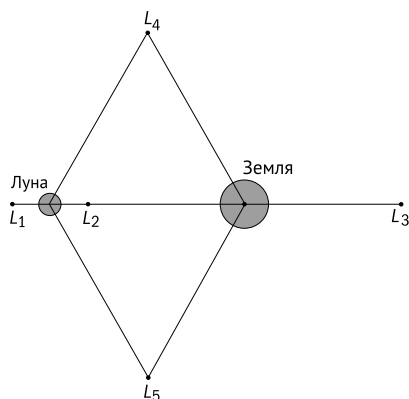
любой планете температура с глубиной растёт. Таким образом, по богатству природы Титан не уступает некоторым большим планетам, например Меркурию, а возможно, и Марсу, поэтому его с полным основанием можно назвать планетой-спутником.

ТИТАНИЯ (VIII, Titania) — естественный спутник Урана. Его открыл Вильям Гершель 11 января 1787 г. Большая полуось орбиты $435\,910 \text{ км}$. Орбитальный период $8,706234 \text{ сут}$. Эксцентриситет орбиты $0,0011$. Наклонение орбиты к экватору планеты $0,34^\circ$. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Диаметр 1577 км . Масса около $3,53 \cdot 10^{21} \text{ кг}$. Средняя плотность $1,71 \text{ г/см}^3$. Ускорение свободного падения у поверхности 38 см/с^2 . Вторая космическая скорость у поверхности 773 м/с . Геометрическое альbedo 35% , альbedo Бонда 17% . Видимый блеск $13,5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $32''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 70 К ; минимальная 60 К , максимальная 89 К .

ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — один из специфических механизмов электромагнитного излучения. Согласно положениям электродинамики, заряд, движущийся с ускорением или торможением, излучает электромагнитные волны. В космических условиях торможение (или ускорение) зарядов может быть вызвано либо их притяжением или отталкиванием при сближении электронов и ионов, либо их центробежным ускорением при движении во внешнем магнитном поле. В астрофизике тормозным излучением называют только первый механизм излучения. Другой механизм — излучение при торможении частиц во внешнем магнитном поле — называют магнитотормозным (циклотронным и синхротронным).

ТОЧЕЧНЫЙ ИСТОЧНИК — объект, угловой размер которого меньше углового разрешения телескопа, или линейный размер изображения которого меньше размеров пикселя детектора. Объекты с противоположными свойствами называют протяжёнными источниками.

ТОЧКИ ЛИБРАЦИИ — точки (в равномерно вращающейся системе координат), в кото-



Точки либрации в плоскости орбитального движения системы Земля – Луна

рых лёгкое небесное тело, движущееся под влиянием притяжения двух других тел значительной массы, взаимно обращающихся по круговым орбитам, может находиться в состоянии равновесия по отношению к этим двум телам. Вблизи точек либрации, например, движутся астероиды-тройцы. Обозначаются точки либрации традиционно буквой L с индексом или строчной цифрой (например, L2 или L2) в честь Лагранжа, детально исследовавшего эту небесно-механическую задачу. Поэтому их часто называют точками Лагранжа.

ТОЧКИ РАВНОДЕНСТВИЯ — две точки на небесной сфере, в которых эклиптика пересекает небесный экватор. Переходя из Южного полушария в Северное, Солнце проходит через точку весеннего равноденствия 20 или 21 марта, а обратно — через точку осеннего равноденствия 22 или 23 сентября. В эти дни по всей Земле Солнце перемещается по небу от восхода до заката почти ровно за 12 часов и, следовательно, везде продолжительность дня и ночи одинакова. Через точку весеннего равноденствия (старое название — «начальная точка Овна», знак ♈) проходят нулевые меридианы в эклиптической и экваториальной системах координат. Когда астрономия складывалась как наука, около 2000 лет назад, эта точка располагалась в созвездии Овна. В результате прецессии она переместилась примерно на 20° к западу и теперь находится в созвездии Рыб. Точка осеннего равноденствия раньше была в Весах (знак ♎), а теперь в Деве.

ТОЧКИ СОЛНЦЕСТОЯНИЯ — две точки на эклиптике, где Солнце в течение года достигает максимального и минимального склонения. Около 22 июня Солнце проходит точку летнего солнцестояния, где его склонение составляет +23,5°, а около 22 декабря Солнце проходит точку зимнего солнцестояния, имея склонение –23,5°.

ТРАНЗИТ — см. *Прохождение*.

ТРЕК ХАЯШИ — почти вертикальная ветвь эволюции звёзды на диаграмме Герцшпрунга–Рассела, по которой молодая звезда спускается к главной последовательности. На треке Хаяши звезда находится в конвективном равновесии. По мере сжатия звезды её светимость, которая вначале была очень высокой, быстро падает, но температура поверхности остаётся почти неизменной. Для звёзд, покидающих главную последовательность и становящихся гигантами, этот процесс происходит в обратном порядке. Трек назван в честь японского астрофизика Чуширо Хаяши (Chushiro Hayashi, 1920–2010), теоретически описавшего этот этап эволюции звезды.

ТРЕУГОЛЬНИК — маленькое экваториальное созвездие к юго-востоку от Андромеды. У его западной границы видна спиральная галактика M33, или Туманность Треугольника, повернутая к нам почти плашмя. Её английское прозвище Pinwheel переводится как «цевочное колесо» — разновидность зубчатого колеса со стерженьками вместо зубьев; оно довольно точно передает видимую форму галактики. Несмотря на формально достаточную яркость (5,7^m), заметить невооружённым глазом эту галактику практически невозможно. Она, как и Туманность Андромеды (M31), член Местной группы галактик. Обе они расположены симметрично относительно звезды Мирах (β Андромеды), что существенно облегчает поиск более слабой M33. Обе галактики находятся от нас примерно на одинаковом расстоянии, но Туманность Треугольника чуть дальше, на расстоянии 2,6 млн св. лет.

ТРИТОН (N I, Triton) — один из естественных спутников Нептуна, крупнейший среди них. Открыл его 10 октября 1846 г. английский астроном Уильям Ласселл. Это открытие состоялось всего через 17 дней по-

сле обнаружения немецкими астрономами И. Галле и Г. д'Арре самого Нептуна, существование которого предсказал и положение на небе предвычислил У. Лавуазье. Любопытно, что сообщение об открытии Нептуна получил Вильям Гершель. Именно он написал об этом Ласселлу и предложил поискать у новой планеты спутники, что тот незамедлительно начал и через 8 дней обнаружил Тритон. Ласселл заявил также об открытии колец Нептуна, что весьма странно. Нептун действительно окружен кольцами, но они настолько тусклые, что заметить их с Земли практически невозможно; во всяком случае этого не мог бы сделать Ласселл.

Название «Тритон» предложил в 1880 г. французский астроном Камилль Фламмарин, но вплоть до середины XX в. более употребительным его названием было просто «спутник Нептуна». Второй спутник Нептуна — Нереида — был открыт только в 1949 г. Исследование Тритона с близкого расстояния было предпринято лишь однажды: в 1989 г., когда зонд «Вояджер-2» пролетел мимо Нептуна. При этом удалось сфотографировать только 40% поверхности Тритона.

Большая полуось орбиты Тритона 354 759 км. Орбитальный период 5,877 сут = 5 сут 21 час 03 мин. Эксцентриситет орбиты $2 \cdot 10^{-5}$. Наклонение орбиты к эклиптике 130° , а к экватору планеты 157° , т. е. орбитальное движение обратное, против направления вращения планеты. Тритон единственный из крупных спутников (так называемых «планет-спутников») с обратным орбитальным движением.

Диаметр Тритона 2707 км. Вращение вокруг оси синхронное с орбитальным. Масса около $2,14 \cdot 10^{22}$ кг (что составляет 99,5% от суммарной массы всех известных спутников Нептуна). Средняя плотность Тритона $2,05 \text{ г/см}^3$. Ускорение свободного падения у поверхности $0,78 \text{ м/с}^2$. Вторая космическая скорость у поверхности 1,46 км/с. Визуальное геометрическое альbedo 76%. Видимый блеск $13,5^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $17''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности около 38 К.

Несмотря на крайне низкую температуру поверхности, за счёт сублимации азота

у Тритона существует чрезвычайно разреженная азотная атмосфера со следами двуокиси углерода и метана. Атмосферное давление у поверхности 1,4–1,9 Па (в 70 тыс. раз меньше давления земной атмосферы на уровне моря). На Тритоне зафиксированы метановые облака на высоте 1–3 км над поверхностью. Наземные наблюдения за покрытием звёзд показали заметный рост плотности атмосферы с 1989 по 1998 гг. Вероятно, это связано с сезонным 5%-м ростом температуры поверхности.

Поверхность Тритона в основном покрыта метановым и азотным льдом. Некоторые области покрыты водяным льдом и «сухим» льдом (CO_2). Наблюдаются довольно большие перепады высот. Например, вблизи экватора на обращённой к Нептуну стороне Тритона обнаружены по крайней мере два образования, напоминающие замёрзшее озеро с террасами на берегах с высотой ступеней до километра. Их возникновение, по-видимому, связано с последовательными эпохами замерзания и плавления, с каждым разом охватывавшими всё меньший объём вещества. Даже в условиях поверхности Тритона метановый или аммиачный лёд недостаточно прочны, чтобы удерживать такие перепады высот, поэтому полагают, что в основе террас лежит водяной лёд.

На поверхности Тритона мало ударных кратеров, что говорит о геологической активности спутника: возраст его поверхности не превышает 100 млн лет. На снимках, переданных «Вояджером», было зафиксировано всего 179 ударных кратеров. Для сравнения, на Миранде, спутнике Урана, зафиксировано 835 кратеров, хотя площадь поверхности Миранды составляет всего 3% от площади поверхности Тритона. Самая большая из найденных ударных структур на Тритоне, названная «Мазомба» (Mazomba), имеет диаметр 27 км. При этом на Тритоне обнаружено множество огромных кратеров (некоторые больше Мазомбы), происхождение которых связано с геологической активностью, а не со столкновениями. Большинство кратеров Тритона сконцентрировано в ведущем полушарии спутника, т. е. в том, которое смотрит в направлении его орбитального движения. Вероятно, в ведомом

полушарии кратеров должно быть меньше. Поскольку «Вояджер» исследовал менее половины поверхности Тритона, в будущем вполне возможно обнаружение гораздо большего числа ударных кратеров, причём ещё большего размера, чем Мазомба.

На поверхности Тритона довольно большую площадь занимает уникальная местность, рельеф которой напоминает дынную корку. В Солнечной системе такая поверхность не встречается более нигде. Она так и называется — Дынная корка (Cantaloupe terrain). Канталуп — это мускусная дыня, а англ. *terrain* — «местность», точнее «рельеф местности». На Дынной корке мало ударных кратеров, однако эта местность считается древнейшей на спутнике. Там встречаются огромные круглые структуры диаметром 30–40 км, однако их происхождение не связывают с ударами метеоритов, поскольку эти структуры приблизительно одинакового размера, кривой формы с высокими гладкими краями (ударные кратеры обычно имеют круглую форму, их края пологие и сглаженные). Происхождение этих структур связывают с явлением диапиризма. Диапировые складки и купола возникают за счёт выдавливания высокопластичных пород из нижних горизонтов. О происхождении Дынной корки есть несколько мнений. Возможно, это результат мощной криовулканической активности с последующим затоплением местности и остыванием. После затвердевания лёд расширился и трескался.

В области полярной шапки имеются многочисленные тёмные полосы (их около 50). По меньшей мере две из них возникли в результате действия гейзероподобных выбросов (см. *Криовулканизм*), остальные, скорее всего, тоже. Азот, пробиваясь сквозь отверстия во льду, выносит пылевые частицы на высоту до 8 км, откуда они, снижаясь, могут распространяться шлейфами на расстоянии до 150 км. Выбросы этих холодных гейзеров — плюмы — тянутся в западном направлении, что говорит о существовании преобладающего ветра. Источники энергии и механизм действия выбросов ещё непонятны, но то, что они наблюдались в широтах (от 50° до 57° ю. ш.), над которыми Солнце находилось в зените, позволяет предпо-

ложить влияние солнечного света. Аналогичное явление наблюдается на Марсе: газовые гейзеры CO₂, по-видимому, каждую весну извергаются из его южной полярной шапки.

Особенности строения и орбитального движения Тритона позволяют предположить, что он возник в поясе Койпера, как отдельное небесное тело, похожее на Плутон, и позднее был захвачен Нептуном. Приливное взаимодействие Нептуна и Тритона сокращает орбиту спутника и разогревает планету. Возможно, благодаря этому Нептун выделяет больше тепла, чем Уран. А Тритон в результате торможения постепенно приближается к Нептуну. Вероятно, когда-нибудь он войдёт в предел Роша и его разорвёт на части — в этом случае образовавшееся вокруг Нептуна кольцо будет более мощным, чем кольца Сатурна.

ТРОПОСФЕРА — нижние слои атмосферы планеты, примыкающие к её поверхности, в которых происходят циркуляционные и конвективные движения газов, обеспечивающие медленное уменьшение температуры с высотой и определяющие погодные и климатические явления.

ТРОЯНЦЫ — семейство астероидов, движущихся приблизительно по орбите Юпитера на равном расстоянии от него и от Солнца. Наиболее крупные из них носят имена героев Троянской войны. Второе подобное семейство астероидов на орбите Юпитера — греки. На орбитах некоторых других планет тоже есть подобные астероиды, сопровождающие планету. По традиции их тоже называют «тройанцами» (например, тройяцы Сатурна) либо тройянскими астероидами. Подробнее см. *Греки и тройяцы*.

ТУКАН — южное околополюсное созвездие, выделенное И. Байером к югу от Журавля и Феникса. В нём нет ярких звёзд, но в самой южной его части видно изумительное шаровое скопление 47 Тукана (NGC 104), имеющее блеск 4^м и удалённое на 13 000 св. лет. Рядом с ним видна соседняя галактика — Малое Магелланово Облако (ММО), член Местной группы и, как и БМО, спутник нашей звёздной системы, удалённый на 190 000 св. лет.

ТУМАННОСТИ — облака межзвёздного газа и пыли, видимые благодаря их собствен-

му излучению (если они горячие), либо отражению от них света соседних звёзд, либо же поглощению света лежащих за ними звёзд (в этом случае туманность заметна в виде тёмного силуэта).

Раньше астрономы называли туманностями любые небесные объекты, неподвижные относительно звёзд, но имеющие, в отличие от них, диффузный, размытый вид, как у маленького облачка. Употребляемый в астрономии для туманности латинский термин *nebula* означает именно «облако». Со временем выяснилось, что некоторые из них — это звёздные скопления, которые не удавалось разрешить на звезды. Другие, например, туманность в созвездии Ориона, состоят из межзвёздного газа и пыли и принадлежат нашей Галактике. Третьи, «белые» туманности, как в Андромеде и в Треугольнике, оказались гигантскими звёздными системами, подобными нашей Галактике.

Внегалактическими туманностями раньше называли светлые туманные пятна, расположенные вне полосы Млечного Пути (т. е. вне «галактического пояса»). Когда выяснилось, что в абсолютном большинстве это далёкие звёздные системы, подобные нашей Галактике, некоторое время их продолжали называть внегалактическими туманностями, вкладывая в это понятие новый смысл — «далёкие гигантские звёздные системы». Сейчас термин «внегалактические туманности» уже не употребляется. Туманностями принято называть только газово-пылевые образования в межзвёздном или околозвёздном пространстве.

История. Ещё до изобретения телескопа астрономы замечали на небе «туманные пятна», не похожие на звёзды и планеты. На небе Северного полушария это были туманности Ориона и Андромеды, на южном небе — Магеллановы Облака. В зависимости от качества зрения, человек мог видеть некоторые звёздные скопления как кучку звёзд или же как размытое пятнышко. Например, туманное пятнышко в созвездии Рака теперь известно как звёздное скопление Ясли. Но чтобы заметить в нём отдельные звёзды, нужны чрезвычайно зоркий глаз (а лучше — бинокль) и очень тёмное небо. Ещё несколько скоплений можно

увидеть невооружённым глазом как слабые «туманные звёзды», но догадаться об их истинной природе до изобретения телескопа было невозможно.

С изобретением телескопа было открыто много новых туманностей. В 1612 г. Н. Пейреск (1580–1637) впервые упомянул о «Большой туманности Ориона», а С. Мариус (1570–1624) первым в Европе описал Туманность Андромеды (арабы знали о ней и до телескопа). Совершенствовался телескоп — обнаруживались новые туманности: в списке Э. Галлея (1714 г.) их 6, у В. Дерхэма (1733 г.) уже 16, Н. Лакайль (1755 г.) отметил 42 объекта, в каталоге Ш. Мессье и П. Мешена (1783 г.) описано 103 туманности, а в списках В. Гершеля (1818 г.) уже 2500 объектов незвёздного вида. Наконец, в «Новом общем каталоге туманностей и скоплений» Дж. Дрейера (1888 г.) значится 7840 незвёздных объектов.

До середины XIX в. астрономы считали, что все туманности — это далёкие скопления звёзд. Но в 1860 г., впервые используя спектроскоп, Уильям Хёггинс показал, что некоторые туманности газовые. Когда сквозь спектроскоп проходит свет обычной звезды, получается непрерывный спектр, в котором представлены все цвета от фиолетового до красного. Правда, в некоторых местах спектра звезды имеются узкие тёмные линии поглощения, но заметить их глазом довольно трудно, они видны лишь на качественных фотографиях спектров. А спектр излучения разреженного газа, напротив, состоит из отдельных ярких линий, между которыми практически нет света. Именно это увидел Хёггинс при наблюдении некоторых туманностей через спектроскоп. Более поздние наблюдения подтвердили, что многие туманности действительно являются облаками горячего газа. Часто астрономы называют «туманностями» и тёмные диффузные объекты — тоже облака межзвёздного газа, но холодные.

Во второй половине XIX в., после открытия Хёггинса, по отношению к туманностям наблюдался «газовый перегиб» — они все считались облаками межзвёздного газа. Даже обладающие чёткой симметричной формой спиральные туманности, та-

кие как Туманность Андромеды, считались сравнительно близкими образованиями, связанными с формированием звёзд и планет: ядро спиральной галактики принимали за молодую звезду, формирующуюся в центре вращающегося газового облака. Это заблуждение рассеялось к началу XX в., когда фотографии, полученные на больших телескопах, показали истинную природу галактик, состоящих из миллиардов звёзд.

Типы туманностей. Туманности разделяют на следующие основные типы:

- диффузные туманности, области НП, такие как Туманность Ориона;
- отражательные туманности, как туманность Меропы в Плеядах;
- тёмные туманности, как Угольный Мешок, которые обычно связаны с молекулярными облаками;
- остатки сверхновых, как туманность Сеть в Лебеде;
- планетарные туманности, как Кольцо в Лире.

Диффузные туманности. Широко известные примеры диффузных туманностей – Туманность Ориона на зимнем небе, а также Лагуна и Тройная (Трёхраздельная) – на летнем. Тёмные линии, рассекающие Тройную туманность на части, – это холодные пылевые облака, лежащие перед ней. Расстояние до этой туманности около 2200 св. лет, а её диаметр чуть менее 2 св. лет. Масса этой туманности в 100 раз больше массы Солнца. Но некоторые диффузные туманности, например, Лагуна, 30 Золотой Рыбы и Туманность Ориона, значительно крупнее и массивнее. В отличие от звёзд, газовые туманности не имеют собственного источника энергии; они светятся только в том случае, если внутри них или рядом находятся горячие звёзды с температурой поверхности от 20 до 40 тыс. К. Эти звёзды испускают ультрафиолетовое излучение, которое поглощается газом туманности и переизлучается им в форме видимого света. Пропущенный через спектроскоп, этот свет расщепляется на характерные линии излучения различных элементов газа.

Отражательные туманности. Отражательная туманность возникает, когда облако с рассеивающими свет пылинками освещается

расположенной рядом звездой, температура которой не так высока, чтобы заставить светиться газ. Небольшие отражательные туманности иногда видны рядом с формирующимися звёздами.

Тёмные туманности – это облака, состоящие в основном из газа и отчасти из пыли (в соотношении по массе около 100:1). В оптическом диапазоне они закрывают от нас центр Галактики и видны как чёрные пятна вдоль всего Млечного Пути, например Большой Провал в Лебеде. Но в инфракрасном и радио-диапазонах эти туманности излучают довольно активно. В некоторых из них сейчас формируются звёзды. Плотность газа в них значительно выше, чем в межоблачном пространстве, а температура ниже, от $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-220\text{ }^{\circ}\text{C}$. В основном они состоят из молекулярного водорода (H_2), но обнаружены в них и другие молекулы, в том числе органические.

Остатки сверхновых. Когда состарившаяся звезда взрывается, её внешние слои сбрасываются со скоростью около 10^4 км/с. Это быстро летящее вещество, подобно бульдозеру, сгребает перед собой межзвёздный газ, и вместе они образуют структуру, подобную туманности Сеть в Лебеде. При столкновении движущегося вещества с неподвижным они нагреваются в мощной ударной волне и светятся без дополнительных источников энергии. Температура газа при этом достигает сотен тысяч градусов, и он становится источником рентгеновского излучения. Кроме того, в ударной волне усиливается межзвёздное магнитное поле, а заряженные частицы – протоны и электроны – ускоряются до энергий гораздо выше тепловой. Движение этих быстрых заряженных частиц в магнитном поле вызывает излучение в радиодиапазоне, называемое нетепловым.

Самый интересный остаток сверхновой – Крабовидная туманность. В ней выброшенный сверхновой газ ещё не смешался с межзвёздным веществом. В 1054 г. была видна вспышка звезды в созвездии Телец. Восстановленная по китайским летописям картина вспышки показывает, что это был взрыв сверхновой звезды, которая в максимуме достигла светимости в 100 млн раз

выше солнечной. Крабовидная туманность находится как раз на месте той вспышки. Астрономы измерили угловой размер и скорость расширения туманности, поделили одно на другое и таким образом рассчитали, когда это расширение началось: почти точно получился 1054 г. Сомнений нет: Крабовидная туманность — остаток сверхновой.

В спектре этой туманности каждая линия раздвоена. Ясно, что один компонент линии, сдвинутый в голубую сторону, приходит от приближающейся к нам части оболочки, а другой, сдвинутый в красную сторону, — от удаляющейся. По формуле Доплера вычислили скорость расширения (1200 км/с) и, сравнив её со скоростью углового расширения, определили расстояние до Крабовидной туманности — около 3300 св. лет.

Крабовидная туманность имеет сложное строение: её внешняя волокнистая часть излучает отдельные эмиссионные линии, характерные для горячего газа; внутри этой оболочки заключено аморфное тело, излучение которого имеет непрерывный спектр и сильно поляризовано. К тому же оттуда исходит мощное нетепловое радиоизлучение. Это можно объяснить только тем, что внутри туманности быстрые электроны движутся в магнитном поле, испуская синхротронное излучение в широком диапазоне спектра — от радио до рентгеновского.

Долгие годы загадочным оставался источник быстрых электронов в Крабовидной туманности, пока в 1968 г. не удалось обнаружить в её центре быстро вращающуюся нейтронную звезду — пульсар, остаток взорвавшейся тысячу лет назад массивной звезды. Совершая 30 оборотов в секунду и обладая чудовищно мощным магнитным полем, нейтронная звезда выбрасывает в окружающую туманность потоки быстрых электронов, ответственных за наблюдаемое излучение (см. *Пульсары*).

Оказалось, что механизм синхротронного излучения весьма распространен среди активных астрономических объектов. В нашей Галактике можно указать немало остатков сверхновых, излучающих за счёт движения электронов в магнитном поле, например, мощный радиоисточник Кассио-

пея А (Cas A), с которым в оптическом диапазоне связана расширяющаяся волокнистая оболочка. Из ядра гигантской эллиптической галактики M87 выбрасывается тонкая струя горячей плазмы с магнитным полем, излучающая во всех диапазонах спектра. Не ясно, связаны ли активные процессы в ядрах радиогалактик и квазаров со сверхновыми, но физические процессы излучения в них весьма схожи.

Планетарные туманности. В некотором смысле простейшие галактические туманности — это планетарные. Их открыто около двух тысяч, а всего в Галактике их не менее 20 тыс. Они концентрируются в галактическом диске, но не тяготеют, как диффузные туманности, к спиральным рукавам.

При наблюдении в небольшой телескоп планетарные туманности выглядят размытыми дисками без особых деталей и напоминают планеты. У многих вблизи центра видна голубая горячая звезда. Как и у диффузных туманностей, источником их свечения служит ультрафиолетовое излучение звезды, находящейся внутри. Типичный пример — туманность Кольцо в Лире; эта планетарная туманность светится под действием УФ-излучения горячей звезды, расположенной в центре газовой оболочки (см. *Планетарные туманности*).

Спектральный анализ излучения туманностей. Чтобы проанализировать спектральный состав излучения туманности, часто используют бесщелевой спектрограф. В простейшем случае вблизи фокуса телескопа помещают вогнутую линзу, превращающую сходящийся пучок света в параллельный. Его направляют на призму или дифракционную решётку, расщепляющую пучок в спектр, а затем выпуклой линзой фокусируют свет на фотопластинке, получая при этом не одно изображение объекта, а несколько — по числу линий излучения в его спектре. Правда, изображение центральной звезды при этом растягивается в линию, поскольку у неё непрерывный спектр.

В спектрах газовых туманностей представлены линии всех важнейших элементов: водорода, гелия, азота, кислорода, неона, серы и аргона. Причём, как и везде во

Вселенной, водорода и гелия оказывается гораздо больше остальных.

Возбуждение атомов водорода и гелия в туманности происходит не так, как в лабораторной газоразрядной трубке, где поток быстрых электронов, бомбардируя атомы, переводит их в более высокое энергетическое состояние, после чего атом возвращается в нормальное состояние, излучая свет. В туманности нет таких энергичных электронов, которые могли бы своим ударом возбудить атом, т. е. «забросить» его электроны на более высокие орбиты. В туманности происходит «фотоионизация» атомов ультрафиолетовым излучением центральной звезды, т. е. энергии пришедшего кванта достаточно, чтобы вообще оторвать электрон от атома и пустить его в свободный полёт. В среднем проходит 10 лет, пока свободный электрон встретится с ионом, и они вновь объединятся (рекомбинируют) в нейтральный атом, выделив энергию связи в виде квантов света. Рекомбинационные линии излучения наблюдаются в радио-, оптическом и инфракрасном диапазонах спектра.

Наиболее сильные линии излучения у планетарных туманностей принадлежат атомам кислорода, потерявшим один или два электрона, а также азоту, аргону, сере и неону. Причём они излучают такие линии, которые никогда не наблюдаются в их лабораторных спектрах, а появляются только в условиях, характерных для туманностей. Эти линии называют «запрещёнными» (см. *Запрещённые спектральные линии*). Они видны в спектрах как планетарных, так и диффузных туманностей. В спектрах таких туманностей есть и слабое непрерывное излучение, возникающее при рекомбинации электронов с ионами.

На спектрограммах туманностей, полученных со щелевым спектрографом, линии часто выглядят изломанными и расщеплёнными. Это эффект Доплера, указывающий на относительное движение частей туманности. Планетарные туманности обычно расширяются радиально от центральной звезды со скоростью 20–40 км/с. Оболочки сверхновых расширяются гораздо быстрее, возбуждая перед собой ударную волну. А у диффузных туманностей вместо об-

щего расширения обычно наблюдается турбулентное (хаотическое) движение отдельных частей.

Важная особенность некоторых планетарных туманностей — стратификация их монохроматического излучения. Например, излучение однократно ионизованного атомарного кислорода наблюдается в обширной области, на большом расстоянии от центральной звезды, а двукратно ионизованные (т. е. потерявшие два электрона) кислород и неон видны лишь во внутренней части туманности, тогда как четырёхкратно ионизованный неон заметен лишь в центральной её части. Это объясняется тем, что необходимые для более сильной ионизации атомов энергичные фотоны не достигают внешних областей туманности, а поглощаются газом уже недалеко от звезды.

По химическому составу планетарные туманности весьма разнообразны: элементы, синтезированные в недрах звезды, у некоторых из них оказались подмешанными к веществу сброшенной оболочки, а у других — нет. Ещё сложнее состав остатков сверхновых: сброшенное звездой вещество в значительной степени смешано с межзвёздным газом и, кроме того, разные фрагменты одного остатка иногда имеют различный химсостав (как у Кассиопеи А). Вероятно, это вещество выбрасывается с различных глубин звезды, что даёт нам возможность проверять теорию эволюции звёзд и взрыва сверхновых.

Происхождение туманностей. Диффузные и планетарные туманности имеют совершенно разное происхождение. *Диффузные* всегда находятся в областях звёздообразования — как правило, в спиральных рукавах галактик. Обычно они связаны с крупными и холодными газово-пылевыми облаками, в которых формируются звёзды. Яркая диффузная туманность — небольшой кусочек такого облака, разогретый родившейся поблизости горячей массивной звездой. Поскольку такие звёзды формируются нечасто, то и диффузные туманности далеко не всегда сопровождают холодные облака. Например, в Орионе есть молодые горячие звёзды, поэтому есть и несколько диффузных туманностей, но они крошечные по

сравнению с невидимым для глаза тёмным облаком, занимающим почти все созвездие. А в небольшой области звёздообразования в Тельце нет ярких горячих звёзд и поэтому нет заметных диффузных туманностей (есть лишь несколько слабых туманностей вблизи активных молодых звёзд типа Т Тельца).

Планетарные туманности — оболочки, сброшенные звёздами на заключительном этапе их жизни. Нормальная звезда светит за счёт протекающих в её ядре термоядерных реакций, превращающих водород в гелий. Но когда запасы водорода в ядре звезды истощаются, с ней происходят быстрые перемены: гелиевое ядро сжимается, оболочка расширяется, и звезда превращается в красный гигант. Обычно это переменные звёзды типа Миры Кита или OH/IR с огромными пульсирующими оболочками. В конце концов они сбрасывают внешние части своих оболочек. Вероятно, так формируются планетарные туманности. Лишённая оболочки внутренняя часть звезды имеет очень высокую температуру, иногда выше 100 000 К. Постепенно остаток звезды сжимается и превращается в белый карлик, лишённый ядерного источника энергии и медленно остывающий. Таким образом, планетарные туманности выбрасываются их центральными звёздами, тогда как диффузные туманности типа Туманности Ориона — это вещество, которое осталось неиспользованным в процессе формирования звёзд.

ТУМАННОСТЬ АНДРОМЕДЫ — ближайшая к нам спиральная галактика, наблюдаемая в созвездии Андромеды; известна под номером M31 в каталоге Шарля Мессье и под номером NGC 224 в Новом общем каталоге. Другие её популярные названия: галактика в Андромеде, спираль в Андромеде, Галактика Андромеда, Andromeda Galaxy. Расстояние до неё около 780 кпк (2,5 млн св. лет). Её масса и размеры немного больше, чем у нашей галактики, поэтому Туманность Андромеды — наиболее массивный член Местной группы галактик. Морфологический тип Туманности Андромеды SA(s)b.

Туманность Андромеды — единственная галактика, которую можно наблюдать в Северном полушарии невооружённым глазом (с трудом) или в бинокль как светлое туман-

ное пятнышко. Наблюдая галактику глазом и даже в бинокль, мы замечаем лишь её наиболее яркую, центральную, часть.

Интегральная (т. е. суммарная по всей площади) звёздная величина Туманности Андромеды $V=3,44$. Такую звезду было бы легко заметить глазом, но в данном случае этот свет «размазан» по большой площади и потому почти незаметен: на глубоких снимках видимый размер галактики $1^\circ \times 3^\circ$, т. е. значительно больше лунного диска, имеющего диаметр $0,5^\circ$. Наиболее яркая часть Туманности Андромеды — её диск — повернута к нам почти ребром, поэтому галактика выглядит как вытянутый эллипс. Относительно Солнца Туманность Андромеды движется с лучевой скоростью -301 км/с (т. е. приближается к нам). Но большая часть этой скорости связана с движением самого Солнца по галактоцентрической орбите. Скорость сближения нашей галактики с Туманностью Андромеды составляет около 120 км/с.

ТУМАННОСТЬ ОРИОНА — светлая диффузная туманность в созвездии Ориона, на расстоянии около 500 пк от Солнца. Благодаря большому угловому размеру (около 1°) при хороших условиях наблюдения видна даже невооружённым глазом и очень хорошо видна в бинокль в виде бледного пятна в Мече фигуры охотника, чуть ниже Пояса Ориона из трёх звёзд. Чтобы отличить от прочих туманностей, которыми богато это созвездие, её часто называют «Большая туманность Ориона» или, с большой буквы, Туманность Ориона. В каталогах обозначается как M42 или NGC 1976. Открыта в 1610 г. французским учёным Никола-Клодом Фабри де Переском (1580–1637) и независимо в 1618 г. швейцарским астрономом Иоганном Баптистом Цизатом (1586?–1657). Туманность Ориона была первой сфотографированной туманностью (Генри Дрэпер, США, 1880).

Туманность Ориона содержит скопление очень молодых звёзд. В центральной, наиболее яркой её части находятся четыре массивные горячие звезды спектрального класса O — Трапедия Ориона. Их ультрафиолетовое излучение (в основном звезды q Ori) вызывает свечение газа самой туманности.

В 1980-е гг. удалось сфотографировать в инфракрасном диапазоне скопление молодых и формирующихся звёзд, скрытое в глубине туманности и не наблюдаемое в оптическом диапазоне. Светлая туманность представляет собой небольшую нагретую часть гораздо более обширного, холодного и не видимого в оптике облака молекулярного водорода, занимающего на небе существенную часть фигуры Ориона.

ТУРИНСКАЯ ШКАЛА АСТЕРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ — международная шкала, характеризующая степень потенциальной опасности, грозящей Земле со стороны астероида или ядра кометы. Балл по Туринской шкале астероидной опасности (Torino Impact Hazard Scale или короче — Torino Scale) присваивается малому телу Солнечной системы в момент его открытия в зависимости от массы этого тела, возможной скорости и вероятности его столкновения с Землёй. Туринская шкала содержит 11 уровней (баллов), в соответствии с которыми астероиды и другие небесные тела классифицируются по степени их опасности для Земли. При этом учитывается не только вероятность столкновения астероида с Землёй, но и потенциальные разрушения, к которым может привести катастрофа (см. таблицу ниже).

Одной из причин разработки такой шкалы стали систематические сенсационные сообщения средств массовой информации о грозящих Земле катастрофах, провоцирующие истерию в обществе и создающие неверное представление о реальной космической угрозе. В связи с этим Туринская шкала была разработана для объективной оценки степени опасности от конкретных астероидов и ядер комет для земной биосферы и цивилизации.

Шкалу астероидной опасности разработал профессор Массачусетского технологического института (США) Ричард Бинзел (R. P. Binzel). Её первый вариант, созданный в 1995 г., назывался «Индекс опасности околоземного объекта» (A Near-Earth Object Hazard Index). К работе над этой шкалой, длившейся четыре года, кроме астрономов были привлечены психологи (специалисты по общественной психологии) и журнали-

Оценка опасности столкновения Земли с астероидом и кометой

События, не имеющие последствий (белая зона)

0	Вероятность столкновения в ближайшие десятилетия равна нулю. К этой же категории событий относятся столкновения с объектами, которые не смогут достигнуть поверхности Земли, поскольку сгорят в её атмосфере.

Заслуживающие тщательного мониторинга (зелёная зона)

1	Вероятность столкновения крайне мала. Скорее всего, подобные тела в ближайшие десятилетия с Землей не встретятся.

Вызывающие беспокойство (жёлтая зона)

2	Близкий, но не являющийся чем-то необычным, пролет. Столкновение очень маловероятно. Подобные события происходят нередко.
3	Близко пролетающее тело; вероятность столкновения 1% или выше. Столкновение способно вызвать только локальные разрушения.
4	Близкий пролёт с вероятностью столкновения 1% или более. Столкновение способно вызвать региональные разрушения.

Явно угрожающие события (оранжевая зона)

5	Близкий пролет, который с существенной вероятностью может вызвать столкновение, приводящее к региональной катастрофе.
6	Близкий пролёт, который с существенной вероятностью может вызвать столкновение, приводящее к катастрофе с вероятными глобальными последствиями.
7	Близкий пролёт, который с существенной вероятностью может вызвать столкновение, приводящее к катастрофе с неизбежными глобальными последствиями.

Столкновение неизбежно (красная зона)

8	Столкновение, приводящее к локальным разрушениям. Такие столкновения происходят один раз в 50–1000 лет.
9	Столкновение, приводящее к региональным разрушениям. Такие события происходят один раз в (10–100) тысяч лет.
10	Столкновение, приводящее к глобальной катастрофе с изменением климата. Такие события случаются один раз в 100 000 лет или реже.

сты — популяризаторы науки, пишущие для солидных журналов и газет. Видный астроном К. Пилчер (K. Pilcher) счёл Туринскую шкалу полезной для классификации и объяснения гражданам последствий, возникающих при столкновении планеты с астероидами. Применять эту шкалу призвал и Т. Герелс (T. Gehrels), возглавляющий один из международных проектов по поиску неизвестных околоземных небесных тел.

Окончательный вариант шкалы Бинзел представил своим коллегам в июле 1999 г.

на международном симпозиуме по околоземным объектам в Турине. Астрономы одобрили шкалу Бинзела и решили назвать её в честь этого итальянского города. МАС утвердил Туринскую шкалу как официальную для оповещения населения о возможной космической угрозе. Эта шкала имеет приблизительно логарифмический характер, подобно многим другим шкалам, выражающим мощности природных явлений, например известной шкале Рихтера, широко используемой сейсмологами для указания разрушительной силы землетрясений. Как и шкала Рихтера, шкала Бинзела вполне доступна пониманию неспециалиста, в чём и заключается её несомненная польза.

В принципе возможно перемещение объекта из одной категории в другую — в зависимости от его поведения на орбите и уточнения данных о нём.

В 2004 г. был открыт 370-метровый астероид Апофис (99942 Apophis), имевший предварительное обозначение 2004 MN4. Расчёты показали, что 13 апреля 2029 г. и 13 апреля 2036 г. он пройдёт вблизи Земли, а 12 апреля 2068 г. не исключено его столкновение с нашей планетой, хотя вероятность этого крайне мала. По мере накопления наблюдений и уточнения расчётов балл Апофиса по Туринской шкале менялся от 1 до 4 (до сих пор это рекордный показатель!), но после 2008 г. застыл на отметке «1», а к 2020 г. опустился до «0».

ТЯГОТЕНИЕ (притяжение, гравитация, всемирное тяготение) — универсальное фундаментальное взаимодействие между всеми материальными телами. В приближении малых скоростей и слабого гравитационного взаимодействия описывается теорией тяготения Ньютона, в общем случае описывается общей теорией относительности Эйнштейна. Гравитация является самым слабым из четырёх типов фундаментальных взаимодействий. В квантовом пределе гравитационное взаимодействие должно описываться квантовой теорией гравитации, которая ещё полностью не разработана.

Закон всемирного тяготения был сформулирован И. Ньютоном в 1687 г. При его выводе Ньютон опирался на работы Галилея (1638) и Кеплера (1627). Согласно зако-

ну всемирного тяготения, два точечных тела массами m_1 и m_2 притягивают друг друга с силой

$$F = Gm_1m_2/r^2,$$

где r — расстояние между телами, G — гравитационная постоянная. Ускорение, которое испытывает тело m_2 , находящееся на расстоянии r от данного тела m_1 , равно:

$$a_2 = F/m_2 = Gm_1/r_2.$$

Эта величина не зависит от состава и массы тела, получающего ускорение. В этом соотношении выражается экспериментальный факт, известный ещё Галилею, согласно которому все тела падают в гравитационном поле Земли с одинаковым ускорением.

Инертной массой тела (m_i) называют величину, характеризующую его способность приобретать то или иное ускорение под действием заданной силы. Инертная масса входит во второй закон механики Ньютона. Гравитационная масса (m_g) характеризует способность тела создавать то или иное поле тяготения. Гравитационная масса входит в закон тяготения.

Пропорциональность m_i и m_g у тел различной природы была исследована в опытах многих физиков, например Роланда Этвеша (1922), Роберта Дикке (1964), Владимира Борисовича Брагинского (1971) и др. Она проверена в лаборатории с погрешностью $< 10^{-13}$. Высокая точность этих экспериментов позволяет оценить влияние на массу различных видов энергии связи между частицами тела. Пропорциональность инертной и гравитационной масс означает, что физические взаимодействия внутри тела одинаковым образом участвуют в создании его инертной и гравитационной масс.

У

УВЛЕЧЕНИЕ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ — физическое явление, состоящее в том, что пространство-время вокруг вращающегося тела вовлекается в его вращение. Другое название — эффект Лензе — Тирринга.

УГЛЕРОДНАЯ ДЕТОНАЦИЯ В ЗВЕЗДЕ — взрывообразное термоядерное возгорание углерода в вырожденном ядре звезды-сверхгиганта (аналог гелиевой вспышки, но с участием углерода, а не гелия). Углерод-

ная детонация, по-видимому, характерна для звёзд с массой от 8 до $10 M_{\odot}$. Взрывообразное загорание углерода в ядре сверхгиганта может привести к взрыву звезды как сверхновой типа II.

УГЛОВАЯ МИНУТА, или **минута дуги** (англ. *arc minute*) — мера угла, равная $1/60$ углового градуса, обозначается как $'$, например, $5' \equiv 5$ угловых минут.

УГЛОВАЯ СЕКУНДА, или **секунда дуги** (англ. *arcsecond* или *second of arc*) — мера угла, равная $1/3600$ углового градуса, обозначается как $''$: например, $7'' \equiv 7$ угловых секунд.

УГЛОВОЙ ГРАДУС — мера угла, равная $1/360$ полной окружности или $0,017453\dots$ радиана.

УГЛОВОЙ ДИАМЕТР — видимый на небесной сфере диаметр объекта, измеренный в угловых единицах (радианы, градусы, минуты дуги, секунды дуги, угловые часы, минуты и секунды). Если угол, под которым виден объект, мал, то его угловой диаметр в радианах с большой точностью равен отношению линейного диаметра объекта к расстоянию до него. Поэтому, зная угловой диаметр и расстояние до объекта, можно вычислить его истинный линейный диаметр. Объекты на разных расстояниях (например, Солнце и Луна) могут иметь близкие угловые диаметры и в то же время значительно различаться истинными размерами.

УЗЛЫ ОРБИТЫ — две точки, в которых орбита пересекает базисную плоскость. Для членов Солнечной системы этой плоскостью обычно служит эклиптика (реже — небесный экватор). Узел, через который тело переходит из южного полушария в северное, называют восходящим, противоположный — нисходящим. У визуально-двойной звезды узлами являются точки пересечения орбиты и картинной плоскости (плоскости, перпендикулярной лучу зрения); при прохождении восходящего узла вторичный компонент системы движется к наблюдателю.

«УЛИСС» (англ. *Ulysses*) — межпланетный зонд, созданный совместно NASA и ESA и предназначенный для исследования полярных областей Солнца, межпланетного вещества, солнечного ветра и, как попутная задача, Юпитера. Вначале этот проект назы-

вался «Международной миссией солнечных полюсов» (International Solar Polar Mission). В его рамках предполагалось запустить два одинаковых зонда к Юпитеру, которые должны были облететь планету с разных сторон и одновременно выйти один к северному, а другой к южному полюсам Солнца. Но из-за недостатка средств был построен только один аппарат «Улисс», который и был запущен 6 октября 1990 г. с борта шаттла «Дискавери» (NASA).

Полная масса аппарата 370 кг (55 кг научных приборов), размеры $3,2 \times 3,3 \times 2,1$ м. Научное оборудование зонда обеспечивает измерение характеристик космической пыли, космических лучей, солнечного ветра, характеристик плазмы и магнитного поля. Фото- и телекамер аппарат не имеет. Источником электроэнергии служит радиоизотопный термоэлектрический генератор на плутонии-238. Аппарат проработал более 17 лет, что вчетверо превысило расчётный срок эксплуатации. Официально об окончании экспедиции было объявлено 1 июля 2008 г.; причина — недостаточная выработка энергии, необходимой для поддержания ориентации аппарата на Землю. Однако «Улисс» оставался работоспособен. Окончательное отключение питания бортовой радиоаппаратуры состоялось 30 июня 2009 г.

«Улисс» стал первым зондом, высоко поднявшимся над плоскостью эклиптики, что позволило взглянуть на Солнце со стороны полюсов и построить более точную модель околосолнечного пространства. Непосредственное выведение аппарата на полярную околосолнечную орбиту потребовало бы слишком больших затрат топлива, поэтому был использован гравитационный манёвр в поле притяжения Юпитера, что позволило получить ряд ценных сведений и о самой планете. 8 февраля 1992 г. «Улисс» прошёл на высоте шести радиусов планеты над Юпитером и за счёт её притяжения вышел из плоскости эклиптики.

Сначала зонд облетел Солнце со стороны южного полюса (с мая по сентябрь 1994 г.), а затем со стороны северного полюса (с мая по сентябрь 1995 г.). Эти исследования проводились в период солнечного минимума. Следующее прохождение полярных об-

ластей Солнца пришлось на сентябрь—декабрь 2000 г. (южный полюс) и 2001 г. (северный полюс). Эти исследования пришлись на период солнечного максимума.

В связи с тем, что в феврале 2004 г. миссия была продлена до марта 2008 г. (а в ноябре 2007 г. — до марта 2009 г.), «Улисс» получил возможность совершить ещё один виток вокруг Солнца. Южный полюс он прошёл в ноябре 2006 г. — апреле 2007 г., а с января 2008 г. начал исследование северного полюса. В процессе полёта зонд несколько раз проходил через газовые хвосты комет (C/1996 B2 Хиякутаке, C/1999 T1 Макнота—Хартли, C/2000 S5 и C/2006 P1 Макнота).

УЛЬТРАФИОЛЕТ, ультрафиолетовое излучение, УФ-излучение — коротковолновый (высокочастотный) участок электромагнитного излучения, примыкающий к видимому диапазону в своей длинноволновой части и к рентгеновскому диапазону в области коротких длин волн. Длины волн УФ-излучения лежат в пределах от 350 до 1 нм, а соответствующие им частоты — в диапазоне от $8,6 \cdot 10^{14}$ до $3 \cdot 10^{17}$ Гц. Энергия фотонов УФ-излучения составляет от 3,5 до 10^3 эВ.

Излучение космических объектов, за исключением наиболее длинноволновой части УФ диапазона, наблюдается только за пределами атмосферы. УФ излучение с длиной волны короче 91,2 нм (912 Å) ионизирует межзвёздный водород и приводит к образованию светлых туманностей. Самый мощный поток УФ лучей приходит на Землю от Солнца. Он рождается в горячих слоях солнечной атмосферы и оказывает сильное влияние на разреженные слои земной атмосферы. Мощными природными источниками УФ-лучей служат горячие звезды — голубые сверхгиганты. Исследование УФ-излучения даёт важнейшую информацию о горячих телах Вселенной и их влиянии на окружающий газ.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ АСТРОНОМИЯ — исследование космических объектов в диапазоне волн длиной от 10 до 350 нм. Ультрафиолетовый диапазон подразделяют на ближний (200–350 нм) и дальний, или вакуумный (10–200 нм); последний так назван потому, что интенсивно поглощается атмосферой и может исследоваться только в условиях ва-

куума, с борта космических аппаратов. Наблюдения в ближнем УФ-диапазоне можно осуществлять из верхних слоёв атмосферы.

Оптические стёкла полностью поглощают коротковолновое излучение с $\lambda < 300$ нм. Кварцевые стёкла прозрачны до $\lambda \approx 170$ нм. Таким образом, в ближнем УФ-диапазоне возможно создание телескопов-рефракторов, но при $\lambda < 170$ нм могут использоваться только рефлекторы.

Измерение спектральных линий ультрафиолетового диапазона используется для определения химического состава, плотности и температуры межзвёздной среды, а также температуры и состава молодых горячих звёзд и Солнца. Наблюдения в УФ диапазоне позволяют получить важную информацию об эволюции галактик.

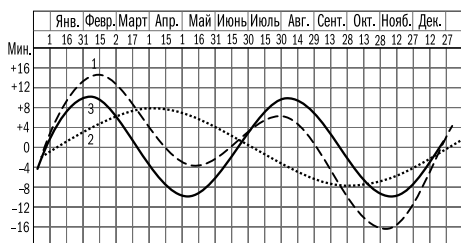
Среди первых космических УФ-телескопов были ОАО-3 «Коперник» (1972), IUE (1978), «Астрон» (1983). В последние десятилетия в космосе непрерывно работают несколько УФ-телескопов различного «калибра»: от телескопа «Хаббл» диаметром 2,4 м до телескопов GALEX (Galaxy Evolution Explorer) диаметром 0,5 м и FUSE (Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer) диаметром 0,4 м. На некоторых спутниках стоят УФ-телескопы ещё меньшего диаметра для исследования Солнца и вспыхивающих источников.

Особенностью космических УФ-телескопов является их длительный срок службы. В отличие от ИК-телескопов, они не нуждаются в глубоком охлаждении с помощью испаряющихся жидкостей (водорода, гелия), поэтому длительность их активного функционирования порой достигает 20 лет.

УМБРИЭЛЬ (U II, Umbriel) — естественный спутник Урана. Открыл его 24 октября 1851 г. Уильям Ласселл. Большая полуось орбиты 266 000 км. Орбитальный период 4,144 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0039. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,128°. Орбитальное движение прямое (по направлению вращения планеты). Диаметр 1169 км. Масса около $1,17 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность 1,39 г/см³. Ускорение свободного падения у поверхности 23 см/с². Вторая космическая скорость у поверхности 520 м/с. Геометрическое альbedo 26%, альbedo Бонда 10%. Видимый блеск 14,5^m и максимальное угло-

вое расстояние от планеты 20" для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 75 K; максимальная 85 K.

УРАВНЕНИЕ ВРЕМЕНИ — текущая разность между средним и истинным солнечным временем (т. е. разность прямых восхождений истинного и среднего Солнца). Вклад в эту разность дают два явления: неравномерное движение Земли по эксцентричной орбите (уравнение эксцентриситета, или уравнение центра) и наклон эклиптики к экватору (уравнение от наклона эклиптики), приводящий к тому, что даже при равномерном движении Солнца по эклиптике его прямое восхождение изменялось бы в течение года неравномерно. Амплитуда первого из них составляет ± 8 минут, а второго ± 10 минут. В сумме это даёт уравнение времени с амплитудой около ± 16 минут. Часто таблички с графиком уравнения времени располагают рядом с солнечными часами, что позволяет значительно точнее определять среднее солнечное время по положению тени гномона. См. также *Аналема*, *Солнечные часы*.



Уравнение времени (1) и его составляющие: уравнение от эксцентриситета (2) и уравнение от наклона эклиптики (3)

УРАН — планета Солнечной системы, седьмая от Солнца, удалённая от него на 2870 млн км = 19,2 а. е. (большая полуось орбиты). Планеты, расположенные ближе к Солнцу, — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн, — видны на небе Земли невооружённым глазом и принадлежат к числу наиболее ярких объектов. Но Уран практически виден только в телескоп (его звёздная величина около 5,8^m) и выглядит маленьким зеленоватым диском диаметром около 4". Период обращения Урана вокруг Солнца 84 года с небольшим. Его масса 8,663 · 10²⁵ кг (14,5 массы Земли); экваториальный ради-

ус 25 559 км (4,01 радиуса Земли); средняя плотность 1,27 г/см³. Тело планеты обладает заметным сжатием: её полярный радиус на 586 км меньше экваториального. По причине большого размера и массы Уран входит в группу планет-гигантов, вместе с Юпитером, Сатурном и Нептуном.

В телескоп детали на диске Урана увенным образом не различаются, но наблюдаются периодические колебания блеска, вызванные вращением. Ось вращения Урана лежит почти в плоскости его орбиты. Формально наклон оси относительно перпендикуляра к плоскости орбиты составляет 97,8°, что говорит об обратном направлении вращения планеты. Период осевого вращения 17 час 14 мин 24 сек.

Спектроскопически в атмосфере Урана обнаружены водород H₂, метан CH₄ и ацетилен C₂H₂. Метан имеет полосы поглощения в красной области спектра и его значительно больше над верхней границей облаков, чем на Юпитере и Сатурне. Это объясняет зеленоватую окраску планеты. Но основные составляющие атмосферы — это водород (88% объёма) и гелий (12%). Облака Урана состоят, по-видимому, из частиц замёрзшего метана. Температура верхнего облачного слоя — 214 °C. Под плотной атмосферой, предположительно, находится протяжённая ледяная мантия и металло-силикатное ядро.

Уран окружен тонкими пылевыми кольцами и системой из 27 спутников (данные 2011 г.), самые крупные из которых — Титания и Оберон — вдвое меньше Луны.

В 1986 г. космический аппарат «Вояджер-2» (NASA) пролетел на расстоянии около 120 тыс. км от Урана. Были переданы на Землю изображения самой планеты, её колец и спутников, исследовалась атмосфера планеты (дистанционно) и её магнитное поле. Напряженность магнитного поля у видимой границы облаков около 0,25 Э. Удивительной является геометрия магнитного поля Урана: эквивалентный диполь удален на расстояние 6000 км от центра планеты и наклонен на 60° к оси её вращения.

УРКА-ПРОЦЕСС — механизм испускания электронных нейтрино (ν_e) и антинейтрино звёздным веществом при бета-взаимодействии электронов и позитронов с атомными

ядрами: в итоге тепловая энергия звёздного вещества уносится из звезды в виде нейтрино и антинейтрино, тогда как ядерный состав звёздного вещества остаётся неизменным (атомные ядра играют роль катализаторов). Хотя вероятность рождения нейтрино и антинейтрино мала, вероятность их выхода из звезды на много порядков величины превышает вероятность выхода фотонов (ведь нейтрино почти не поглощается и не рассеивается веществом), это и определяет важную роль потери энергии звездой за счёт различных механизмов образования нейтрино и антинейтрино на поздних стадиях эволюции звёзд.

В основном варианте урка-процесса атомное ядро захватывает электрон с испусканием нейтрино, превращаясь в неустойчивое ядро, которое затем испускает электрон и антинейтрино и вновь возвращается в исходное состояние. Энергия неустойчивого ядра выше, чем энергия системы из устойчивого ядра плюс свободный электрон на величину кинетической энергии электрона, которая берётся из энергии теплового движения вещества звезды. Конечным результатом процесса является превращение кинетической энергии захватываемых электронов в энергию пар нейтрино – антинейтрино, которые свободно уходят из звезды. При более высоких температурах, когда в больших количествах в равновесии присутствуют электрон-позитронные пары, возникает возможность обобщённого урка-процесса с захватом позитронов. Это эквивалентно превращению пары электрон – позитрон в пару нейтрино – антинейтрино, которая практически свободно покидает звезду, унося её энергию в невидимой для обычных телескопов форме. Впрочем, в недрах сжимающейся нейтронной звезды плотность вещества настолько велика, что даже нейтрино не могут легко оттуда выйти.

УШИРЕНИЕ ЛИНИЙ – увеличение ширины спектральных линий, обусловленное несколькими различными процессами. Наиболее заметно ширина линий изменяется под влиянием давления: чем выше давление газа, тем больше ширина излучаемых им линий. Эта зависимость помогает отличить по

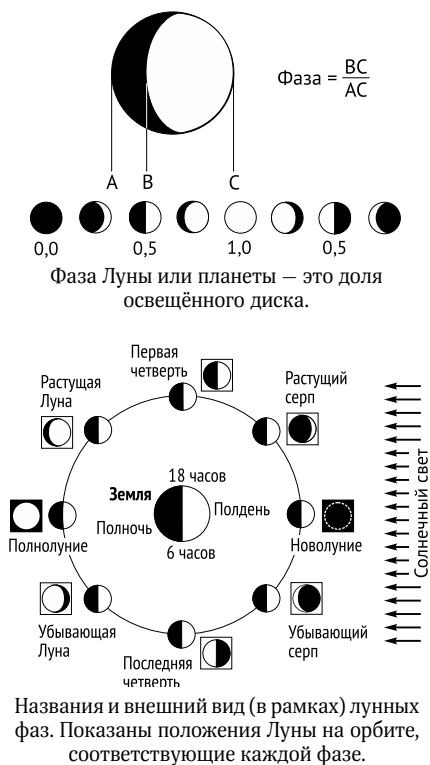
спектру карликовую звезду от звезды-гиганта: в разреженных атмосферах гигантов давление намного ниже, чем в плотных атмосферах карликов, поэтому у гигантов линии значительно уже, чем у карликов того же спектрального класса (т. е. приблизительно той же температуры).

Доплеровское смещение частоты также может приводить к уширению линий: например, наблюдается температурное уширение линий, вызванное тепловым движением поглощающих или излучающих атомов. На макроскопическом уровне эффект Доплера проявляется в результате турбулентного движения газовых потоков, расширения или сжатия облака или атмосферы звезды, а также в результате вращения объекта, приводящего к различию лучевых скоростей у разных точек его поверхности. Известны и другие физические процессы, способные приводить к уширению спектральных линий (например, эффект Зеемана при взаимодействии атома с магнитным полем).



ФАЗА (при описании колебательного процесса) – мера расстояния вдоль волны между двумя максимумами. Часто фазу выражают в градусах или других единицах измерения угла, основываясь на идее происхождения волны из кругового движения. В этом случае максимум имеет фазовый угол 0° . Угол плавно увеличивается вдоль волны, проходя через 180° в минимуме до 360° (или снова 0°) в следующем максимуме. Принято считать, что две волны находятся «в фазе», если разность их фаз в данной точке составляет 0° или число, кратное 360° . Две волны находятся «в противофазе», если разность их фаз в данной точке составляет 180° или число кратное 360° плюс 180° . В первом случае наблюдается конструктивная интерференция, во втором – деструктивная интерференция волн.

ФАЗА (при описании внешнего вида Луны или планеты) – определённая стадия в периодическом изменении видимой формы освещённого полушария Луны или планеты. Например, фазы Луны – это новолуние, первая четверть, последняя четверть, пол-



нолуние. Строго говоря, фазы Луны определяются как моменты разностей эклиптических долгот Луны и Солнца: 0° , 90° , 180° и 270° . Величиной фазы называют освещенную долю диаметра, перпендикулярного линии, соединяющей концы серпа, или, что то же самое, — отношение площади освещенной части видимого диска ко всей его площади: 1 — полнолуние, 0 — новолуние, 0,5 — первая и последняя четверти и т. п.

ФАЗА ЗАТМЕНИЯ — доля диаметра диска Солнца или Луны, закрытая затмевающим объектом: Луной в случае солнечного затмения или тенью Земли в случае лунного.

ФАЗИРОВАННАЯ РЕШЁТКА — радиотелескоп, состоящий из множества простых фиксированных антенн, расположенных в виде регулярной сетки. Подобная система может быть достаточно чувствительной, поскольку простыми однотипными антеннами легко можно покрыть большую площадь. Наводить на объект такой радиотелескоп можно, смещая его диаграмму направленности по небесной сфере путём изменения фазовых задержек между последова-

тельными элементами в колоннах и рядах антенной решётки. В 1967 г. в процессе наблюдений с фазированной решёткой площадью 4 акра в Кембриджской обсерватории были открыты радиопульсары.

ФАКЕЛЫ — яркие области горячего газа в фотосфере Солнца.

ФАРАДЕЕВСКОЕ ВРАЩЕНИЕ, или **эффект Фарадея**, — поворот плоскости поляризации линейно поляризованного электромагнитного излучения при его прохождении через плазму, пронизанную магнитным полем.

В астрономических наблюдениях эффект Фарадея обнаруживается только в радиодиапазоне.

ФЕНИКС — южное созвездие, первое изображение которого появилось на картах Иоганна Байера в 1603 г. (хотя предложено оно было голландскими мореплавателями ещё в 1597 г.) Эта «огнеупорная птица» расположилась к югу от Скульптора, между Эриданом и Журавлем. На расстоянии $6,5^\circ$ к западу от звезды α Phe находится звезда SX Phe — самая известная среди карликовых цефеид, демонстрирующая экстремально быстрые колебания блеска ($7,2^m$ – $7,8^m$) с периодом всего 79 мин 10 с.

«ФЕНИКС» (Phoenix) — автоматический космический аппарат NASA (США) для стационарного исследования поверхности и атмосферы Марса. Запущен 4 августа 2007 г. Успешно сел на Марс 25 мая 2008 г. в северной полярной области Green Valley, в точке с координатами $68^\circ 13'$ с. ш., $125^\circ 42'$ з. д. Работал в период полярного дня, с мая по ноябрь 2008 г. Масса аппарата 350 кг. Имел стереокамеру, лазерный лидар для зондирования атмосферы, оптический и сканирующий атомно-силовой микроскопы и масс-спектрометр. Надёжно зафиксировал наличие водяного льда в грунте (откопав его механической рукой) и косвенные признаки жидкой воды. Одним из самых больших сюрпризов стало неожиданное открытие двух компонентов марсианского грунта — карбоната кальция (его содержание составляет 5%) и перхлоратов (0,5%). Эти соединения очень важны для поиска жизни. Карбонат кальция образуется, когда атмосферная двуокись углерода растворяется в жидкой воде с образованием угольной кислоты. Эта кислота

вымывает кальций из грунта, в результате чего образуется карбонат кальция — очень распространённое на Земле вещество, составляющее основу известняка и мела.

Планетологи уже несколько десятилетий занимались поисками карбонатов на Марсе. Множество каньонов, а также похожих на реки структур и древних озерных котловин, практически не оставляют сомнений в том, что когда-то на Марсе была жидкая вода, откуда следует, что атмосфера тогда должна была быть гораздо плотнее, чем сейчас. Содержавшаяся в атмосфере двуокись углерода должна была куда-то деться, и кальциево-карбонатные породы лучше всего подходили для этого. «Феникс» получил первые свидетельства того, что карбонат кальция входит в состав марсианского грунта. После этого отдельные обнажения кальциево-карбонатных пород были обнаружены орбитальными аппаратами, хотя, по-видимому, это не самая распространённая форма карбонатов на Марсе.

Обнаружение перхлоратов даёт основания для новой интерпретации результатов «Викингов» (1976) по поиску жизни на Марсе. Долгие годы считалось, что эти результаты указывают на отсутствие органики в марсианской почве. Ученые воспроизвели эксперименты «Викингов», используя в качестве рабочего материала похуже на марсианский грунт (по данным «Феникса») образцы грунта из чилийской пустыни Атакама и такие же образцы с добавлением небольшого количества перхлоратов. В результате выделился газ, аналогичный тому, который был зарегистрирован «Викингами»: из перхлората высвободился кислород, который соединился с органическими компонентами, и этот процесс сопровождался выделением хлорметана. Отсюда следует, что в грунте с перхлоратом содержание органических веществ могло быть значительным — более одной миллионной — и при этом приборы «Викингов» вполне могли не заметить их. В пользу этого говорит и то, что приборы «Феникса» зафиксировали выделение двуокиси углерода, когда температура в печи, где нагревались образцы грунта, превысила 300 °С. Так и должно быть в случае со-

единения содержащихся в грунте органических веществ с перхлоратом.

«Феникс» не мог работать в период марсианской полярной ночи, поскольку его единственным источником энергии были панели солнечных батарей. Но и с появлением солнца он не вышел на связь. Как видно на снимках, полученных в июне 2010 г. камерой HiRISE на борту «Орбитального разведчика Марса» (Mars Reconnaissance Orbiter, США), аппарат «Феникс» не пережил марсианскую зиму; одна из его солнечных батарей даже сломалась под тяжестью льда из углекислого газа.

ФОБОС (I, Phobos) — естественный спутник Марса. Большая полуось орбиты 9,38 тыс. км. Орбитальный период 0,318910 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0151. Наклонение орбиты к плоскости Лапласа 1,08°. Наклон плоскости Лапласа к экватору планеты 0,05° (эпоха 1950.0). Вокруг оси спутник вращается синхронно с орбитальным обращением. Размер 26,8 × 22,4 × 18,4 км. Масса 1,07 · 10¹⁶ кг. Средняя плотность 1,88 г/см³. Блеск 11,4^m и максимальное угловое расстояние от планеты 25" для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Автор открытия — Асаф Холл, 1877 г.

ФОКАЛЬНАЯ ПЛОСКОСТЬ — плоскость, перпендикулярная оптической оси, на которой лежат наиболее резко сфокусированные точки изображения. В некоторых инструментах, например в камере Шмидта, фокальная поверхность искривлена и не является плоскостью в её геометрическом смысле. Эта аберрация называется кривизной поля.

ФОКУС — точка, в которой сходятся лучи, собираемые оптической системой (действительное изображение) или из которой лучи расходятся (мнимое изображение). В геометрии это характерная точка внутри эллипса, гиперболы или параболы. «Фокус» в переводе с латинского — очаг, огонь. Название связано с зеркальным свойством указанных кривых. Если параболу считать зеркалом, то лучи от источника (огня) в её фокусе после отражения станут параллельными оси. По закону оптической обратимости лучи, параллельные оси, после отражения соберутся в фокусе. Лучи от источника в фо-

кусе эллипса после отражения собираются во втором его фокусе. Лучи от источника в фокусе гиперболы после отражения расходятся так, что их продолжения назад собираются во втором фокусе.

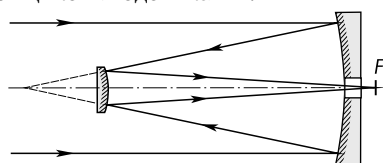
ФОКУС, ГЛАВНЫЙ — место в передней части телескопа-рефлектора, на его оптической оси, где формируется изображение неба после отражения света от главного зеркала. У крупных телескопов вблизи главного фокуса размещают приёмники излучения и сменные вторичные зеркала (для работы в фокусах Кассегрена и Несмита). До появления автоматических систем гидирования и электронных приёмников света в главном фокусе наиболее крупных телескопов размещали кабину для наблюдателя, который управлял телескопом во время экспозиций и менял фотопластинки в промежутках между экспозициями.



Эдвин Хаббл в кабине главного фокуса 200-дюймового телескопа

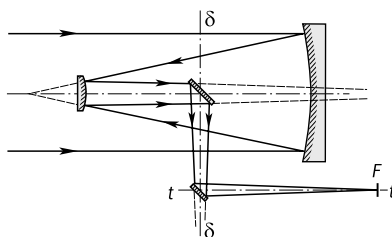
ФОКУС КАССЕГРЕНА — место на оптической оси, где формируется изображение неба в телескопе-рефлекторе системы Кассегрена. Фокус расположен вблизи центрального отверстия в параболическом главном зеркале, сквозь которое проходят лучи, отраженные вторичным выпуклым гипербо-

лическим зеркалом. Обычно в кассегреновском фокусе размещают фотометры или спектрографы умеренной массы. О самом Кассегрене, предложившем эту конструкцию телескопа около 1672 г., почти ничего не известно: он жил во Франции и, по одной версии, был профессором физики в Коллеж-де-Шартр, а по другой — скульптором и литейщиком Людовика XIV.



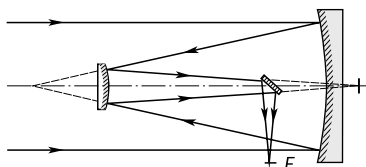
Фокус Кассегрена

ФОКУС КУДЕ — неподвижный фокус у телескопа-рефлектора особой конструкции (см. Куде, оптическая система). У телескопов на экваториальной монтировке это обычно достигается введением дополнительного плоского зеркала в оптическую схему Несмита. При этом фокус куде располагается в нижней части полярной оси.



Фокус куде. $\delta\delta$ — ось склонения;
 tt — полярная (часовая) ось

ФОКУС НЕСМИТА — место сбоку от трубы телескопа-рефлектора системы Кассегрена, на продолжении полой оси склонений, где формируется изображение неба после отражения света от третьего диагонального плоского зеркала, расположенного на оптической оси телескопа. Такая оптическая схема особенно удобна для телескопов на альт-азимутальной монтировке: фокусы Несмита располагаются на концах оси высот, которые движутся только по азимуту, поэтому на специальных площадках там можно разместить массивную, громоздкую и чувствительную светоприёмную аппаратуру. Эту схему предложил в середине XIX в. шотландский инженер Джеймс Несмит (J. Nasmyth, 1808–1890), конструктор



Фокус Несмита

парового молота и других станков для обработки металла, организатор и владелец машиностроительного предприятия в Манчестере, любитель астрономии, совместно с Дж. Карпентером написавший книгу о Луне и создавший гипсовую модель Луны. К недостаткам фокуса Несмита можно отнести сравнительно небольшое поле зрения, которое вращается при сопровождении объекта. Для исключения вращения поля зрения в фокусе Несмита применяют компенсатор вращения.

ФОКУС НЬЮТОНА — место в передней части телескопа-рефлектора, сбоку от его трубы, где формируется изображение неба после отражения собранного главным зеркалом света от вторичного диагонального плоского зеркала, расположенного на оптической оси телескопа. Ньютоновский фокус теперь используется исключительно в любительских конструкциях телескопов.

ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ — расстояние между линзой или зеркалом и изображением источника, расположенного на бесконечности (т. е. дающего пучок параллельных лучей). Для собирающих линз и вогнутых зеркал изображение будет действительным, рассеивающие линзы и выпуклые зеркала дают мнимое изображение.

ФОН НЕБА — диффузное свечение небосвода. Днем оно вызвано рассеянием солнечного света в атмосфере Земли. Ночью — излучением атомов и молекул атмосферы; светом далёких звёзд, туманностей и галактик; солнечным светом, рассеянным межпланетной пылью (зодиакальный свет), а также искусственными источниками света (ночное освещение городов и т. п.). Поверхностная яркость естественного фона неба в местах с хорошим астроклиматом в фильтре В может составлять 23^m с квадратной секунды дуги ($\square''$), однако в большинстве случаев яркость фона неба в несколько раз выше. Яркость фона зависит как от направления (зе-

нитное расстояние, полоса Млечного Пути, зодиак, окрестности ярких звёзд и т. п.), так и от времени суток, фазы Луны и фазы цикла солнечной активности (свечение атмосферы заметно усиливается при повышении активности Солнца).

Именно статистические флуктуации фона неба являются важным ограничивающим фактором при регистрации предельно слабых объектов. При наблюдении точечных источников — звёзд — практически не удастся надёжно фиксировать объекты слабее 28^m с поверхности Земли и 30^m из космоса. При наблюдении протяжённых источников — галактик, туманностей — обычно предельная яркость составляет $27^m/\square''$ в фильтре В, что приблизительно соответствует $1L_{\odot}^B/\text{пк}^2$. В исключительных случаях, при наблюдении из космоса или с фильтрами, отсекающими фон неба, удастся зарегистрировать внешние области галактик, имеющие поверхностную яркость около $30^m/\square''$.

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК — последовательность событий, в результате которых каждая галактика становится обособленной от других и приобретает свою индивидуальность — характерную массу, размер, структуру. Формирование большинства галактик произошло на стадии ранней Вселенной, после эры рекомбинации, закончившейся примерно через 300 000 лет после Большого взрыва. Небольшие пространственные флуктуации температуры реликтового излучения ($\Delta T/T \sim 10^{-5}$) свидетельствуют о существовании в раннюю космологическую эпоху небольших флуктуаций плотности вещества, что является необходимой предпосылкой зарождения галактики. Если бы на ранней стадии расширения Вселенной однородное вещество не смогло бы распасться на гравитационно связанные облака, то позднее, когда космос стал более разреженным, такого шанса у вещества уже не было бы.

Детали формирования галактик неизвестны. Основная идея теорий их формирования состоит в том, что первые облака, обособившиеся во время расширения Вселенной, были облаками тёмной материи с некоторым количеством нейтрального водорода и гелия. Когда в дальнейшем под

действием собственной гравитации эти облака сжимались, тёмная материя и обычное вещество должны были разделиться, так как обычное вещество может терять энергию (в основном на излучение) и поэтому способно сжиматься значительно сильнее, чем тёмная материя, которая, по-видимому, сжимается адиабатически. Происходит это так. В процессе гравитационного коллапса атомы водорода сближаются и начинают чаще сталкиваться. Газ разогревается и начинает сбрасывать тепло в виде ИК-излучения, позволяя коллапсу продолжаться. Тёмная материя ведёт себя иначе: при сжатии она тоже разогревается, но не способна охлаждаться путём излучения, поэтому давление в ней быстро нарастает и сжатие останавливается. Тёмная материя должна остаться в протяжённом гало галактики, как раз там, где она и обнаружена. Из-за потери энергии в среде водорода и гелия увеличивается плотность вещества в центральной части протогалактики и образуются газовые облака. При столкновении двух облаков газ сжимается в ударном фронте, и это запускает процесс звёздообразования. Как только появляется излучение первой звезды, протогалактика становится первобытной галактикой.

Согласно одной из теорий, только что рождённые галактики были небольшими, возможно, не больше шаровых скоплений, и располагались вдоль филаментов (линейных уплотнений), пронизывавших молодую Вселенную, как паутина. Двигаясь по случайным направлениям, эти молодые звёздные системы могли сближаться и объединяться. Многократный повтор процесса приводил к образованию галактик всё большего размера. Спустя миллиарды лет вместо филаментов (цепочек) появились скопления галактик, соединённых перемигками — остатками исходных филаментов.

ФОРМУЛА ПОГСОНА — связь между оптической освещённостью от двух источников (E_1 , E_2) и разностью их видимых звёздных величин (m_1 , m_2):

$$m_1 - m_2 = -2,5 \lg(E_1/E_2).$$

Эту формулу как основу для шкалы звёздных величин предложил в 1856 г. англий-

ский астроном Норман Погсон (Pogson N. R. 1829–1891), приведя к формальному виду список звёздных величин из каталога Гиппарха (II в. до н. э.)

ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ПЛАСТИНКА — тонкий слой фотографической эмульсии, нанесенный на тонкую стеклянную пластинку. Для астрономических работ жёсткие фотопластинки предпочтительнее фотографических пленок на целлулоидной основе. Это особенно важно для точных астрометрических измерений, поскольку стеклянные пластинки менее подвержены деформациям и лучше хранятся. В то же время, фотопластинки менее распространены, нежели фотопленки и их, как правило, следует специально заказывать у производителей.

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА — набор спектральных диапазонов, удобный для изучения звёзд или, например, галактик. Ширина и положение диапазонов на спектральной шкале выбираются так, чтобы сопоставление потоков излучения звезды в этих диапазонах позволило оценить распределение энергии в спектре звезды и таким образом определить её физические свойства, а также свойства межзвёздной среды. Прежде всего это температура поверхности и класс светимости звезды, её химический состав, а также степень межзвёздного поглощения света, а для галактик и квазаров — их красное смещение и степень активности. Во многих случаях измерение блеска звезды или галактики в нескольких диапазонах спектра даёт достаточную информацию для предварительной классификации спектра и позволяет проводить массовые измерения для статистического изучения больших популяций объектов. Разумеется, спектральные измерения более точны, но и значительно более трудоёмки, а для объектов низкого блеска подчас просто невозможны.

Фотометрическая система реализуется путём подбора светофильтров и фотоэмульсий (или иных приёмников излучения). Система закрепляется в виде каталогов звёзд-стандартов. В соответствии с характерной полушириной полосы пропускания фильтров ($\Delta\lambda$) фотометрические системы разделяют на широкополосные ($\Delta\lambda > 40$ нм), среднесплошные ($\Delta\lambda = 10\text{--}40$ нм)

Широкополосные фотометрические системы

Величина	λ_0 , мкм	$\Delta\lambda$, мкм	Плотность потока для звезды 0^m	
			10^{-14} Вт/(см ² мкм)	10^{-24} Вт/(м ² Гц)
U	0,35	0,04	435	18,8
B	0,44	0,10	720	44,4
V	0,56	0,08	392	38,1
R	0,70	0,21	176	30,1
I	0,88	0,22	83	24,3
J	1,25	0,3	34	17,7
H	1,62	0,2	—	—
K	2,2	0,6	3,9	6,3
L	3,5	0,9	0,81	3,1
M	5,0	1,1	0,22	1,8
N	10,4	6,0	0,012	0,43
Q	20,0	5,5	—	—

Среднеполосная фотометрическая система Стрёмгрена

Величина	Название фильтра	λ_0 , нм	$\Delta\lambda$, нм
u	ultraviolet	350	30
v	violet	411	19
b	blue	467	18
y	yellow	547	23

и узкополосные ($\Delta\lambda < 10$ нм). К первым относят чрезвычайно популярную 3-цветную систему UVB с диапазонами шириной около 100 нм: ультрафиолетовый U (эффективная длина волны 350 нм), синий B (435 нм) и визуальный V (555 нм). Добавляя красные (R) и инфракрасные (I) величины, получают 5-цветную широкополосную систему UVBRI. Дополнительные ИК-величины (J, H, K, L, M, N, Q) дают 12-цветную систему. В астрономической практике спектральные диапазоны часто называют «фильтрами». Для большинства фильтров имеется абсолютная калибровка, позволяющая по звёздным величинам объекта найти плотность потока.

Средне- и узкополосные системы менее популярны, так как их воспроизводимость хуже. Одной из первых среднеполосных систем была 4-цветная система uvby, введенная Стрёмгеном и Перри в 1962 г. на обсерваториях Маунт Паломар и Китт Пик (США).

Наиболее полно разработанной среднеполосной системой считают Вильнюсскую 7-цветную, применяемую для двумерной спектральной классификации звёзд. См.:

Страйжис В. Л. Фотометрические системы // Методы исследования переменных звёзд. М.: Наука, 1971; Страйжис В. Л. Многоцветная фотометрия звёзд. Вильнюс, 1977.

ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА UVBY — то же, что фотометрическая система Стрёмгрена.

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ ПАРАДОКС ОЛЬБЕРСА — один из классических космологических парадоксов, сформулированный в 1823 г. немецким астрономом и врачом Генрихом Вильгельмом Ольберсом (1758–1840). Кратко этот парадокс представляется в виде вопроса: «Почему ночью небо тёмное?» Проблема состоит в том, что если в бесконечном пространстве Вселенной равномерно рассеяны излучающие звёзды, то в любом направлении на луче нашего зрения обязательно должна оказаться поверхность какой-либо звезды, а значит, всё небо, днём и ночью, должно ослепительно сиять подобно поверхности Солнца. В действительности же ночное небо тёмное.

Часто эту проблему называют также парадоксом Шезо — Ольберса, поскольку швейцарский астроном Жан Шезо (Jean-Philippe-Loys de Cheseaux, 1718–1751) высказал аналогичную идею ещё в 1744 г. Однако можно вспомнить, что эту же проблему примерно в те же годы обсуждал Эдмонд Галлей (1656–1742), а ещё раньше — Иоганн Кеплер (1571–1630), который в 1610 г. приводил факт темноты ночного неба как аргумент против безграничной Вселенной, заполненной бесконечным количеством звёзд. Впрочем, ещё в 1576 г. вопросом «Почему ночное небо тёмное?» задавался английский математик Томас Диггес (Thomas Digges, 1546–1595).

Для объяснения фотометрического парадокса Ольберс предположил, что в межзвёздном пространстве имеется рассеянное вещество, которое поглощает свет далёких звёзд. Хотя спустя столетие межзвёздное поглощение света действительно было обнаружено, оно не смогло разрешить фотометрический парадокс: в безграничной и вечной Вселенной, однородно заполненной звёздами, сами пылинки нагрелись бы до температуры звёздной поверхности и светились бы как звёзды.

Позже немецкий астроном Хуго Зелигер (Hugo von Seeliger, 1849–1924) сформулировал другой космологический парадокс — гравитационный. Он заключается в том, что согласно Ньютоновой теории тяготения в бесконечной Вселенной, однородно заполненной веществом, сила тяготения не имеет определённой конечной величины.

В рамках классической физики оба парадокса нашли разрешение в модели иерархического строения Вселенной, разработанной Карлом Вильгельмом Шарлье (1862–1934), профессором астрономии и директором обсерватории Лундского университета (Швеция). В 1908 г. он опубликовал новую теорию строения Вселенной; в окончательном виде она была изложена Шарлье в 1922 г. Согласно ей, Вселенная представляет собой бесконечную совокупность входящих друг в друга систем возрастающего порядка сложности: отдельные звёзды образуют галактику первого порядка, совокупность галактик первого порядка — галактику второго порядка (Метагалактику), совокупность галактик второго порядка — галактику третьего порядка и т. д. до бесконечности. На основании такой картины Шарлье пришёл к выводу, что в бесконечной Вселенной иерархической фотометрический и гравитационный парадоксы устраняются, если расстояния между равноправными системами достаточно велики по сравнению с их размерами, что приводит к непрерывному уменьшению средней плотности космической материи по мере перехода к системам более высокого порядка.

Однако идея Шарлье не подтвердилась: изучив распределение далёких галактик, Эдвин Хаббл (1889–1953) и другие астрономы доказали, что в больших масштабах Вселенная однородна и изотропна. С другой стороны, открытое Хабблом расширение Вселенной показало, что чем дальше от нас галактики и их звёзды, тем быстрее они удаляются от нас. Тогда некоторые исследователи решили, что один лишь эффект красного смещения может объяснить темноту ночного неба, поскольку свет, испущенный далёкими звёздами, достигая Земли, оказывается за пределами оптического диапазона спектра. Однако другие сходи-

лись во мнении, что более важным является ограничение возраста Вселенной: за время, прошедшее с начала расширения нашего мира (около 14 млрд лет), до нас дошел свет лишь от ограниченного числа галактик (порядка 10 млрд); этого слишком мало, чтобы сделать ночное небо светлым. Окончательно фотометрический и гравитационный парадоксы были разрешены лишь в релятивистской теории эволюционирующей Вселенной, разработанной на основе общей теории относительности А. Эйнштейна (1879–1955).

ФОТОН — элементарная частица, квант электромагнитного излучения. Масса покоя фотона $m_\gamma = 0$; его скорость равна скорости света c . (Самое жёсткое наблюдательное ограничение сверху на m_γ вытекает из наличия крупномасштабного магнитного поля диска Галактики: $m_\gamma < 10^{-60}$ г.) Спин фотона равен 1 в единицах $\hbar$, поэтому фотон относится к бозонам — частицам с целочисленным спином. Вследствие нулевой массы покоя фотон может находиться только в двух спиновых состояниях: со спином, параллельным и антипараллельным направлению его движения (спиральность ± 1). Фотон участвует в электромагнитном и гравитационном взаимодействиях. Он служит переносчиком электромагнитного взаимодействия заряженных частиц. Рассматривают также виртуальные фотоны, обмен которыми, в отличие от реальных, может осуществлять кулоновское и статические магнитные взаимодействия.

Представление о поле электромагнитного излучения как о совокупности электромагнитных квантов ввёл в 1905 г. А. Эйнштейн. Каждой частоте ν электромагнитного излучения отвечают определённая энергия фотона $E = h\nu$ и абсолютная величина импульса фотона $p = h\nu/c$. В астрономии термин «фотон» обычно применяют в отношении кванта оптического (видимого + инфракрасного) диапазона. В радиодиапазоне квантовая природа излучения проявляется слабо, а для жёсткого диапазона обычно используют термины «рентгеновский квант» и «гамма-квант».

ФОТОННАЯ СФЕРА — сфера, образованная квантами света (фотонами), движущи-

мися по круговым орбитам вокруг шварцшильдовской чёрной дыры. Радиус фотонной сферы равен $1,5 r_g$, где r_g — гравитационный радиус чёрной дыры.

ФОТОСФЕРА (греч. сфера света) — непрозрачный нижний слой атмосферы Солнца, который мы видим в оптический телескоп и воспринимаем как поверхность Солнца. Фактически это самый глубокий слой атмосферы Солнца, доступный наблюдению. Толщина фотосферы 200–300 км, температура в ней уменьшается с высотой от 8–10 тыс. К до 4300 К. От других слоёв Солнца фотосфера отличается минимальной температурой и низкой степенью ионизации газа: большинство атомов водорода в ней нейтральны, а металлы (кальций, натрий, магний, железо и др.) однократно ионизованы.

ФРАУНГЕФЕРОВЫ ЛИНИИ — тёмные линии поглощения, наблюдаемые на фоне непрерывного спектра Солнца и звёзд. Названы в честь немецкого оптика Й. Фраунгера, детально исследовавшего эти линии в спектре Солнца в 1814 г. Фраунгеровы линии — важный источник информации о химическом составе атмосфер Солнца и звёзд, а также о физических условиях в них. См. *Линии Фраунгера*.

ФУОРЫ (переменные звезды типа FU Ориона, FU Orionis, FU Ori) — эруптивные формирующиеся звезды, на диаграмме Герцшпрунга–Рассела движущиеся к главной последовательности, поэтому их называют «звёздами до главной последовательности». По-видимому, они являются одним из состояний звёзд типа Т Тельца (T Tau). Прототип этой группы, сама звезда FU Ориона, имеет спектральный класс G3Iav. В настоящее время она находится на вершине трека Хаяши. В 1937 г. её блеск неожиданно возрос в течение года с $16,5^m$ до $9,6^m$ и остался на этом уровне; вокруг звезды стала видна отражательная туманность, размер которой продолжает увеличиваться. Количество лития в звезде в 80 раз больше, чем на Солнце.

Долгое время эта звезда считалась уникальной, но в 1970 г. была открыта подобная звезда V1057 Cyg, затем V1515 Cyg и ещё несколько звёзд этого типа. Одной из послед-

них обнаруженных звёзд этого типа стала погруженная в облако протозвезда V1647 Ori, продемонстрировавшая вспышку в январе 2004 г.

Блеск фуоров возрастает примерно на 6^m в течение нескольких месяцев. За это время происходит выброс вещества, а затем блеск звезды остаётся постоянным или медленно ослабевает на 1^m – 2^m в течение нескольких лет. Все фуоры связаны с отражательными туманностями.

Современные модели формирования звёзд связывают вспышку фуора с аккрецией газа из околозвёздного диска на молодую маломассивную звезду типа Т Тельца. Темп аккреции $\sim 10^{-4} M_\odot/\text{год}$; время нарастания светимости — порядка года, но может быть и значительно дольше; продолжительность активной фазы — десятки лет. В среднем молодая звезда на этом этапе эволюции может продемонстрировать 10–20 подобных вспышек.

Х

ХАМЕЛЕОН — маленькое южное созвездие, не интересное для любительских наблюдений. Но профессиональные астрономы изучают в нём мощный комплекс молекулярных облаков и связанные с ним области звездообразования. В 1999 г. вокруг звезды η Cha обнаружено близкое рассеянное скопление Мамажек 1 возрастом 8 млн лет, удалённое от нас на 316 св. лет.

ХАРАКТЕРНОЕ ВРЕМЯ — интервал времени, за который какая-либо характеристика процесса изменяется на величину, близкую к её текущему значению. Например, характерное время затухания квазипериодического сигнала — это интервал времени, за который его амплитуда уменьшается в e раз ($e = 2,71828...$).

ХАРОН (Pluto I, Charon) — крупнейший спутник Плутона. Открыл его Джеймс Кристи 22 июня 1978 г. на Наблюдательной станции Морской обсерватории США во Флагстаффе. Большая полуось орбиты: 17 536 км до барицентра системы Плутон–Харон и 19 571 км до центра Плутона. Орбитальный период 6,387230 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0022. Наклонение орбиты к эклипти-

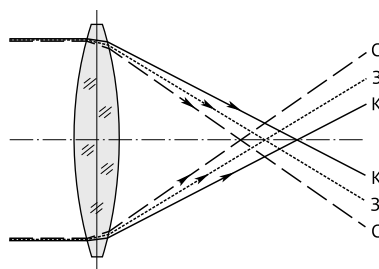
ке $112,78^\circ$, к экватору Плутона $0,001^\circ$, к плоскости орбиты Плутона $119,59^\circ$. Таким образом, орбитальное движение Харона происходит в сторону вращения Плутона, но в обратном направлении относительно движения планет Солнечной системы. Суточное вращение Плутона и Харона синхронизовано с их орбитальным движением (т. е. они постоянно повернуты друг к другу одними и теми же полушариями). Средний диаметр Харона 1212 км (= 0,51 диаметра Плутона). Масса $1,6 \cdot 10^{21}$ кг (около 12% от массы Плутона). Средняя плотность около $1,7 \text{ г/см}^3$. Ускорение свободного падения у поверхности 29 см/с^2 . Вторая космическая скорость у поверхности 580 м/с. Альbedo около 38%. Видимый блеск $16,8^m$ и максимальное угловое расстояние от планеты $0,9''$ для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Угловой диаметр $0,055''$.

Поскольку барицентр системы Плутон — Харон лежит вне тела Плутона, эту систему можно было бы считать двойной карликовой планетой. Но МАС всё же называет Харон спутником Плутона. По своим физическим характеристикам Харон относится к так называемым планетам-спутникам.

ХОД ЧАСОВ — изменение поправки часов за определённый промежуток времени, например за сутки. При отрицательном ходе часы уходят вперёд, при положительном — всё более отстают.

ХОНДРЫ — небольшие сфероидальные частицы размером примерно от 1 до 10 мм (иногда больше), во множестве встречающиеся в метеоритах-хондритах. Вероятно, образовались в результате быстрого охлаждения силикатных минералов (обычно оливина и/или пироксена).

ХРОМАТИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ — размытие и окрашенность краев изображений объектов в линзовых телескопах и камерах, возникающее из-за разной степени преломления в линзах лучей различного цвета: коэффициент преломления для голубых лучей больше, чем для красных (дисперсия света). Излучение обычных источников света обладает сложным спектральным составом, что приводит к возникновению хроматической aberrации, которой в особенности страдают однолинзовые объективы.



Хроматическая aberrация. Красные (К), зелёные (З) и синие (С) лучи фокусируются на разном расстоянии от линзы.

Различают два типа хроматической aberrации: продольную и поперечную. Продольная хроматическая aberrация (так называемый «хроматизм положения фокуса») состоит в том, что для лучей разного цвета фокальные плоскости располагаются на разном расстоянии от линзы, т. е. пересекают оптическую ось в разных местах. Поэтому изображение светлой точки выглядит на экране концентрическим набором цветных кружков (при любом положении экрана в точку фокусируется не более одного цвета). Поперечная хроматическая aberrация (так называемый «хроматизм увеличения») состоит в том, что даже если фокальные плоскости для лучей разного цвета совпадают, для них могут различаться фокусные расстояния (а значит, и масштаб изображения и степень дисторсии) оптической системы. Из-за хроматизма увеличения предметы конечного размера дают изображения с цветной каймой.

В отличие от геометрических aberrаций, хроматические aberrации возникают и в параксиальной области. Подавить хроматическую aberrацию частично удастся, комбинируя в объективе несколько линз из разных сортов стекла (крон, флинт), имеющих различные коэффициенты преломления. Такие многолинзовые объективы — ахроматы и в особенности апохроматы — почти свободны от хроматической aberrации. Зеркальная оптика полностью ахроматична. **ХРОМОСФЕРА** (греч. *chromatos* цвет + лат. *sphere* сфера = сфера цвета) — слой солнечной атмосферы, простирающийся над фотосферой примерно на 10 тыс. км. В отличие от фотосферы, где с увеличением высоты наблюдается падение температуры,

в хромосфере с высотой температура растёт примерно от 4500 К до десятков тысяч кельвинов; растёт также и степень ионизации газа.

Название «хромосфера» связано с тем, что при полном солнечном затмении она выглядит как тонкий окрашенный (розоватый) ободок вокруг Солнца. До высоты 1500 км лежит сравнительно плотная нижняя хромосфера, а выше простираются средний слой (1500–4000 км) и верхний слой, отличающиеся очень неоднородной структурой, наличием множества мелких волокон и струй (см. *Спикулы*), достигающих высоты 10–13 тыс. км в окружении более разреженного коронального газа.

Ц

ЦВЕТ ЗВЕЗДЫ — визуальная характеристика излучения звезды в оптическом диапазоне, зависящая от эффективной температуры $T_{\text{э}}$ её поверхности. С ростом $T_{\text{э}}$ цвет звёзд меняется (подобно цвету раскалённого тела) от красного к голубому. Данные о цвете звёзд главной последовательности разных спектральных классов и приблизительное значение $T_{\text{э}}$ приведены в таблице.

Спектральный класс	Цвет	$T_{\text{э}}$, К
O	Голубой	40000–28000
B	Голубовато-белый	28000–10000
A	Белый	10000–7000
F	Желтовато-белый	7000–6000
G	Жёлтый	6000–5000
K	Оранжевый	5000–3500
M	Красный	3500–2400

По физиологическим причинам человеческий глаз различает цвета только ярких звёзд, слабые звёзды выглядят белыми. Количественной мерой цвета звезды служит показатель цвета.

ЦЕЛОСТАТ (лат. *caelum* небо + греч. *statos* стоящий) — вспомогательная система из двух плоских зеркал перед объективом неподвижного солнечного телескопа (вертикального или горизонтального), позволяющая следить за небесными объектами. Плоскость одного из зеркал параллельна оси мира и вращается вокруг этой оси с перио-

дом 48 час, направляя луч светила на второе, неподвижное зеркало, которое отражает его в объектив телескопа. Положение второго зеркала меняют в соответствии со склонением наблюдаемого светила. Использовать целостат значительно проще, чем поворачивать такой громоздкий инструмент, как солнечный телескоп. Важно, что целостат посылает свет от любого участка неба в фиксированном направлении без вращения выходного изображения.

Возможна и конструкция с единственным плоским зеркалом; такое устройство называют сидеростатом. В этом случае плоское зеркало устанавливают на экваториальной монтировке; оно питает неподвижный телескоп, оптическая ось которого ориентирована параллельно оси вращения Земли. Недостатком сидеростата является вращение изображения объекта при его сопровождении. Изредка целостат и сидеростат применяются в звёздных телескопах.

ЦЕНТР АСТРОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ — база данных, аккумулирующая разнообразную астрономическую информацию, созданная и поддерживаемая NASA в Центре космических полётов им. Годдарда. База доступна через <http://adc.gsfc.nasa.gov>.

Центр астрономических данных в Страсбурге (фр. Centre de données astronomiques de Strasbourg, англ. Strasbourg Astronomical Data Center, CDS) — главный центр астрономических данных, базирующийся на обсерватории г. Страсбура, Франция (бывш. г. Страсбург, Германия). Данные Центра доступны по адресу <http://cds.u-strasbg.fr>. База данных об астрономических объектах за пределом Солнечной системы (SIMBAD) доступна по <http://simbad.u-strasbg.fr>.

ЦЕНТР МАЛЫХ ПЛАНЕТ — организация Международного астрономического союза, расквартированная в Смитсоновской астрофизической обсерватории, которая принимает сообщения об открытиях комет, астероидов и т. п. Для официального признания факта открытия астрономическим сообществом сообщение об открытии следует оповестить в Центр малых планет. Если Вы полагаете, что открыли что-нибудь на небе (вначале тщательно проверьте это!), то можно связаться с Центром малых планет

через <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mcp.html> или через поисковые системы Интернет по ключевому сочетанию MPC (Minor Planet Center).

ЦЕНТРАЛЬНОЕ БЮРО АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕЛЕГРАММ (Central Bureau for Astronomical Telegrams, CBAT) — организация МАС, принимающая и проверяющая сообщения об открытии астрономических объектов: комет, астероидов, новых и сверхновых звёзд и пр. Право на открытие признается астрономической общественностью лишь в случае своевременной посылки сообщения в CBAT. Интернет-адрес — <http://www.cbat.eps.harvard.edu/index.html>.

ЦЕФЕИДЫ — переменные звёзды, жёлтые гиганты или сверхгиганты, периодически изменяющие светимость и, соответственно, наблюдаемую яркость. Прототип этого класса переменных — звезда δ Цефея (δ Cep). Причиной переменности служат периодические колебания радиуса и температуры фотосферы, т. е. пульсации звезды, возникающие из-за нарушения баланса между силами гравитации, стремящимися сжать звезду, и силами давления горячего газа и излучения, стремящимися звезду расширить. Период пульсаций прямо связан со светимостью цефеид: чем длиннее период, тем больше истинная светимость звезды. Четкая зависимость «период — светимость» делает цефеиды важнейшими индикаторами космических расстояний. Измерив период колебаний блеска цефеиды, определив по известной зависимости истинную светимость и сравнив её с видимым блеском звезды, можно определить расстояние до неё. Важно, что из-за своей высокой яркости цефеиды видны и в других галактиках; это позволяет выстраивать с их помощью шкалу расстояний далеко за пределы нашей Галактики.

Один из современных вариантов зависимости период — светимость (точнее, период — абсолютная звёздная величина) для классических цефеид выглядит так:

$$M_v = -1,01 - 2,79 \lg P,$$

где M_v — средняя за период пульсаций абсолютная величина звезды в фильтре V , а P — период, выраженный в сутках.

Все цефеиды занимают на диаграмме

Герцшпрунга — Рассела почти вертикальную область, называемую «полосой неустойчивости». Кривые блеска цефеид имеют характерную форму акульного плавника с быстрым усилением блеска до максимума, недолгим максимальным блеском и продолжительным уменьшением блеска до минимума. Известно более 1000 цефеид, в число которых входит и Полярная звезда (точнее, входила: в середине 1990-х гг. её пульсации практически прекратились).

Цефеиды делят на две категории: тип I и тип II. И хотя оба типа показывают четкую зависимость период — светимость, она у них разная. Цефеиды типа I известны также как звезды типа δ Цефея, или классические цефеиды. Эти массивные звезды (от 5 до $10 M_{\odot}$) относятся к населению I типа, имеют высокую светимость и правильный характер пульсаций с периодами от 1 до 135 сут. Пульсации сопровождаются изменениями блеска с амплитудами от $0,1^m$ до 2^m и изменениями спектрального класса от F в максимуме до G или K в минимуме. Начинают свою жизнь эти объекты как В-звезды с горением водорода, но после того, как они покидают главную последовательность, их внешние слои становятся неустойчивыми и в них развивается радиальная пульсация. Появление пульсаций возможно только в узком диапазоне температуры поверхности звезды, слабо зависящем от её светимости (это и есть полоса неустойчивости). За время своей эволюции после главной последовательности звезда может несколько раз пройти через эту область, и каждый раз у неё возникают радиальные пульсации: один раз во время горения водорода в оболочке, ещё два раза во время горения гелия в ядре и ещё дважды во время горения гелия в оболочке.

Цефеиды I типа наблюдаются в спиральных рукавах галактик. Их светимости более чем в 4 раза превышают светимости цефеид II типа, или звёзд типа W Девы (W Vir). Звезды этого типа являются пульсирующими переменными населения II с периодами от 1 до 35 суток. Между периодами и светимостью этих звёзд также существует прямая зависимость. Обычно звёзды типа W Девы на $1,5^m$ тусклее своих родственников ти-

па I, а их массы меньше $1 M_{\odot}$. Это говорит о том, что эволюционные статусы цефеид типа I и типа II различаются. У звёзд типа W Девы очень характерная кривая блеска с амплитудами от $0,3^m$ до $1,2^m$. На нисходящей ветви кривой блеска у них появляется горб. Эта группа делится на две подгруппы: долгопериодические звезды типа W Девы (пример — сама W Девы) с периодом более 8 суток и короткопериодические звезды типа W Девы (пример — BL Her) с периодом менее 8 суток. Звезды типа W Девы наблюдают в шаровых скоплениях, галактических гало и эллиптических галактиках.

ЦЕФЕЙ — северное созвездие. Мифический эфиопский царь Цефей (Кефей) был супругом Кассиопеи и отцом Андромеды. Созвездие расположено между Кассиопеей и Малой Медведицей; ярких звёзд в нём нет. В целом созвездие не очень выразительное, но пять его ярчайших звёзд, расположенных между Кассиопеей и Головой Дракона, можно легко найти. В сторону Цефея из-за прецессии перемещается северный полюс мира. Звезда Альраи (γ Сер) окажется «полярной» с 3100 г. по 5100 г., Альфирк (β Сер) будет ближе к полюсу с 5100 г. по 6500 г., а с 6500 до 8300 г. роль Полярной перейдет к звезде Альдерамин (α Сер), почти такой же яркой, как нынешняя Полярная.

Яркий компонент симпатичной визуальной двойной звезды δ Сер служит прототипом пульсирующих переменных звёзд-цефеид, изменяя свой блеск от $3,7^m$ до $4,5^m$ с периодом 5,37 сут. Звезду μ Сер в древности называли Эракис, а Вильям Гершель назвал её Гранатовой Звездой, поскольку это самая красная среди звёзд Северного полушария, доступных невооружённому глазу. Звезда VV Цефея — затменная двойная с периодом 20,34 года; её главный компонент — красный гигант, диаметр которого в 1200 раз превышает диаметр Солнца. Возможно, это самая большая среди известных нам звёзд. А звёздное скопление NGC 188 одно из самых старых (5 млрд лет) среди рассеянных скоплений Галактики.

ЦИКЛ, КАЛЕНДАРНЫЙ — промежуток времени, в котором укладывается целое или почти целое число нескольких природных временных периодов. Например:

Метонов цикл показывает соотношение синодического (лунного) месяца и тропического (солнечного) года; поэтому он стал основой для греческого, еврейского и некоторых других календарей. Этот цикл из 19 лет по 12 месяцев содержит 7 добавочных месяцев. Назван он по имени греческого астронома Метона, который открыл его в 432 г. до н. э. не подозревая, что в Китае о нём знали с 2260 г. до н. э. Метон определил, что период в 19 солнечных лет содержит 235 синодических месяцев (лунаций). Он считал длину года равной 365,25 сут, поэтому 19 лет у него составляли 6939 сут и 18 час, а 235 лунаций равнялись 6939 сут 16 час и 31 мин. В этот цикл он должен был вставлять 7 добавочных месяцев, поскольку 19 лет по 12 месяцев дают в сумме 228 мес. Некоторые авторы считают, что Метон вставлял добавочные месяцы в 3, 6, 8, 11, 14 и 19-й годы цикла. В соответствии с этой схемой все годы, помимо указанных, содержат по 12 месяцев, состоящих попеременно из 29 или 30 сут, а упомянутые выше 7 лет содержат 13 месяцев такой же продолжительности, с дополнительным месяцем из 30 сут в 6 из этих лет и 29 сут в 7-м году.

Считают, что первый Метонов цикл начался в июле 432 г. до н. э. Фазы Луны повторяются в те же дни каждого последующего цикла с точностью до нескольких часов. Таким образом, если даты новолуний определены в течение одного цикла, то они легко определяются для последующих циклов. Годы в циклах Метона носили номера от 1 до 19, указывающие место года в конкретном цикле. Положение каждого года в цикле указывал его номер, который назывался «золотым числом», поскольку в эпоху классицизма фазы Луны были начертаны золотом на общественных памятниках. Сейчас золотое число может служить только для указания места года в цикле, что помогает определять дату Пасхи.

Цикл Каллиппа. Другой греческий астроном — Каллипп — в 330 до н. э. развил идею Метона, введя 76-летний цикл ($= 19 \times 4$). Циклы Каллиппа содержат постоянное число високосных лет, тогда как в цикле Метона их число переменное.

Солнечный цикл. Этот цикл состоит из

28 лет и помогает установить связь между днём недели и порядковым днём месяца. Если бы не было високосных лет, то соответствие дней недели и чисел месяца регулярно повторялось бы с 7-летним циклом, поскольку в неделе 7 дней, и год может начинаться с любого из них; а ещё и потому, что обычный год на 1 сутки длиннее 52 полных недель. Но введение раз в 4 года високосных лет делает цикл повторения всех возможных календарей в прежнем порядке 28-летним (в юлианском календаре).

Цикл Дионисия (пасхальный). Этот цикл из 532 лет имеет компоненты лунного 19-летнего и солнечного 28-летнего циклов. Считается, что он был введен в 532 г. н. э. Дионисием Малым. Согласно его расчётам, как раз в том году начинался лунный цикл, первый в новом пасхальном цикле, что и указывало дату рождения Христа в 1 г. н. э. (эта дата является предметом спора; некоторые авторы называют датой рождения Христа 4 г. до н. э.). Цикл Дионисия содержит полную последовательность пасхальных дат.

ЦИРКУЛЬ — маленькое южное созвездие, на границе которого лежит а Кентавра. А великолепная визуальная двойная α Cir ($3,2^m + 8,6^m$, разделение $16''$) демонстрирует быстрые малые колебания блеска и редкие химические элементы в атмосфере — хром, стронций и европий.

Ч

ЧАС — кроме обычного употребления в качестве единицы времени, в астрономии «час» (1^h) используют для измерения углов из расчёта $24^h = 360^\circ$, поэтому $1^h = 15^\circ$. Соответствие основано на видимом движении небесных светил, совершающих полный оборот в течение звёздных суток.

ЧАСТНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ — то же, что Специальная теория относительности. Ковариантная формулировка механики и электродинамики в плоском пространстве-времени.

ЧАСОВАЯ ЗОНА — часть территории Земли, на которой законодательно действует единое время. Это понятие пришло на смену «поясному времени», поскольку государственные и административные границы

полностью разрушили структуру долготных часовых поясов.

ЧАСЫ — южное созвездие в виде узкой длинной полосы к югу от Эридана, лишённой ярких звёзд. Вызывает интерес звезда 4 величины R Nor: это мирида с периодом около 408 сут, которая в минимуме беска ослабевает до 14 величины (т. е. поток света от неё уменьшается в 10 000 раз!).

ЧАША — неприметное созвездие к западу от Ворона. Связанная с названием легенда не сохранилась.

ЧЕРЕНКОВСКИЙ ДЕТЕКТОР — прибор для регистрации высокоэнергичных заряженных частиц по их черенковскому излучению. Это излучение наблюдается, когда заряженная частица проходит через оптически прозрачную среду со скоростью, превышающей локальную фазовую скорость света. Как известно, показатель преломления вещества равен отношению скорости света в вакууме (около 300 000 км/с) к скорости света в этом веществе. Например, в стекле свет распространяется со скоростью около 200 000 км/с. Поэтому частица, движущаяся в стекле со скоростью, скажем, 250 000 км/с, становится источником черенковского излучения. Электромагнитное черенковское излучение быстро движущейся частицы возникает подобно тому, как создаётся акустическая волна телом, движущимся в газовой среде со сверхзвуковой скоростью. Детекторы черенковского излучения используют для регистрации частиц первичных космических лучей по их эмиссии в верхней атмосфере, для детектирования электронов высоких энергий, рождаемых нейтрино в водных ёмкостях установок типа Камиоканде, и в других приборах.

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ — области пространства-времени, в которых гравитационное притяжение настолько велико, что ни вещество, ни свет, ни другие носители информации не могут эти области покинуть. Для находящихся внутри такой области тел вторая космическая скорость (т. е. скорость убегания) должна была бы превышать скорость света, что невозможно, поскольку ни вещество, ни излучение не могут двигаться быстрее света. Поэтому из чёрной дыры ничто не может вылететь. Границу такой об-

ласти называют «горизонтом событий» или просто «горизонтом» чёрной дыры. Чёрные дыры теоретически описываются в рамках общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна. Считается, что они могут возникать в ходе сильного сжатия вещества, например при коллапсе массивной звезды в конце её эволюции.

Поскольку никакой носитель информации не способен выйти из-под горизонта событий, внутренняя часть чёрной дыры причинно не связана с остальной Вселенной; происходящие внутри чёрной дыры физические процессы не могут влиять на процессы вне её. В то же время вещество и излучение, падающие снаружи на чёрную дыру, свободно проникают внутрь через горизонт событий, в принципе, не замечая его (хотя макроскопические тела чувствуют вблизи горизонта значительную приливную силу, вытягивающую тело в радиальном направлении и сжимающую в перпендикулярных к нему направлениях; при этом тело приобретает форму «макароны», вытянутой к центру чёрной дыры). Можно сказать, что чёрная дыра все поглощает и ничего не выпускает. По этой причине и родился термин «чёрная дыра», предложенный в 1967 г. американским физиком, профессором Принстонского университета Джоном Арчибалдом Уилером (J. A. Wheeler, 1911–2008).

Теоретически чёрная дыра может иметь любую массу. Для того чтобы поле тяготения смогло «запереть» излучение, создающая это поле масса (M) должна сжаться до объёма радиусом меньшим «гравитационного радиуса» (r_g), который называют также «шварцшильдовским радиусом» (см. ниже). Математическое выражение для этой величины выглядит чрезвычайно просто: $r_g = 2GM/c^2$, где гравитационная постоянная $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$ и скорость света $c = 99\,792\,458 \text{ м/с}$. Значение гравитационного радиуса чрезвычайно мало по сравнению с привычным размером физических тел. Например, для Солнца, имеющего массу ($M_\odot$) около $2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$ и радиус около 700 тыс. км получаем $r_g = 3 \text{ км}$. А для Земли ($M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$) значение $r_g \approx 1 \text{ см}$. Поэтому создать и исследовать чёрную дыру в лаборатории практически невозможно: чтобы

тело любой разумной массы — даже в миллионы тонн! — стало чёрной дырой, его необходимо сжать до размера меньше протона или нейтрона. Поэтому свойства чёрных дыр пока изучаются теоретически.

Однако расчёты показывают, что тела астрономического масштаба, например массивные звёзды, после истощения в них термоядерного топлива могут под действием собственного тяготения сжиматься до размера своего гравитационного радиуса. Поиск таких объектов ведется уже более 50 лет, и сейчас можно с большой уверенностью указать несколько весьма вероятных кандидатов в чёрные дыры с массами от единиц до миллиардов масс Солнца. Однако их изучение затруднено огромными расстояниями от Земли. И хотя сам факт существования чёрных дыр уже трудно подвергать сомнению, практическое изучение их свойств ещё впереди.

Развитие идеи о чёрных дырах. Известный английский геофизик и астроном Джон Мичелл (J. Michell, 1724–1793) первым предположил, что в природе могут существовать столь массивные звёзды, что даже луч света будет не способен покинуть их поверхность. Используя законы Ньютона, Мичелл рассчитал, что если бы звезда с массой Солнца имела радиус не более 3 км, то даже частицы света (которые, вслед за Ньютоном, он считал корпускулами) не могли бы улететь далеко от такой звезды. Поэтому такая звезда казалась бы издалека абсолютно тёмной. Эту идею Мичелл представил на заседании Лондонского Королевского общества 27 ноября 1783 г. Так родилась концепция «ньютоновской» чёрной дыры.

Такую же идею высказал в своей книге «Система мира» (1796) французский математик и астроном Пьер Симон Лаплас (1749–1827). Простой расчёт позволил написать ему следующие знаменитые слова: «Светящаяся звезда с плотностью равной плотности Земли и диаметром в 250 раз больше диаметра Солнца не даёт ни одному световому лучу достичь нас из-за своего тяготения; поэтому возможно, что самые яркие небесные тела во Вселенной оказываются по этой причине невидимыми». Однако масса такой звезды должна была бы в десят-

ки миллионов раз превосходить солнечную. А поскольку дальнейшие астрономические измерения показали, что массы реальных звёзд не очень сильно отличаются от солнечной, идея Мичелла и Лапласа о чёрных дырах оказалась забыта.

Во второй раз учёные «столкнулись» с чёрными дырами уже в начале XX в., когда Альберт Эйнштейн создал релятивистскую теорию гравитации — общую теорию относительности (ОТО), а немецкий астроном Карл Шварцшильд (1873–1916) в декабре 1915 г. нашёл первое точное решение уравнений ОТО, описывающее невращающуюся чёрную дыру. Оказалось, что пустое пространство вокруг массивной точки обладает особенностью на расстоянии r_g от неё; именно поэтому величину r_g часто называют шварцшильдовским радиусом, а соответствующую поверхность (горизонт событий) — шварцшильдовской поверхностью. В следующие полвека усилиями теоретиков были выяснены многие удивительные особенности решения Шварцшильда, но как реальный объект исследования чёрные дыры ещё не рассматривались.

Правда, в 1930-е гг., после создания квантовой механики и открытия нейтрона, физики исследовали возможность формирования компактных объектов — белых карликов и нейтронных звёзд — как продуктов эволюции нормальных звёзд. Оценки показали, что после истощения в недрах звезды ядерного топлива её ядро может сжаться и превратиться в маленький и очень плотный белый карлик или же в ещё более плотную и совсем крохотную нейтронную звезду, размер которой лишь в несколько раз превосходит значение r_g .

В 1934 г. работавшие в США европейские астрономы Фриц Цвикки (1898–1974) и Вальтер Бааде (1893–1960) выдвинули гипотезу, что вспышки сверхновых представляют совершенно особый тип звёздных взрывов, вызванных катастрофическим сжатием ядра звезды. Так впервые родилась идея о возможности наблюдать коллапс звезды. Бааде и Цвикки высказали предположение, что в результате взрыва сверхновой образуется сверхплотная вырожденная звезда, состоящая из нейтронов. Расчёты показали,

что такие объекты действительно могут рождаться и быть устойчивыми, но лишь при умеренной начальной массе звезды. Но если масса звезды превышает $3 M_\odot$, то уже ничто не сможет остановить её катастрофического коллапса. В 1939 г. американские физики Роберт Оппенгеймер и Хартланд Снайдер обосновали вывод, что ядро массивной звезды должно безостановочно коллапсировать в предельно малый объект, свойства пространства вокруг которого (если он не вращается) описываются решением Шварцшильда. Иными словами, ядро массивной звезды в конце её эволюции должно стремительно сжиматься и уходить под горизонт событий, становясь чёрной дырой. Но поскольку такие объекты (в те годы их называли «коллапсарами» или «застывшими звёздами») не излучают электромагнитных волн, астрономы понимали, что обнаружить в космосе эти маленькие тёмные тела будет невероятно трудно. Поэтому они долго не приступали к их поиску.

Но теоретические исследования чёрных дыр не прекращались. У невращающейся чёрной дыры радиус горизонта событий (r_h) совпадает с гравитационным радиусом ($r_h = r_g$). Поверхность такого радиуса, отделяющую доступную область пространства-времени от области, недоступной для далёкого наблюдателя, как раз и называют сферой Шварцшильда. А в 1963 г. новозеландский математик Рой Патрик Керр (Roy Patrick Kerr, р. 1934 г.) нашёл решение ОТО для вращающейся чёрной дыры. В нём $r_h < r_g$ и горизонт событий окружен эллипсоидальной эргосферой, внутри которой все тела и кванты излучения непрерывно двигаются в экваториальной плоскости под действием вихревого гравитационного поля чёрной дыры. В принципе, вещество и излучение могут покинуть эргосферу.

Формирование чёрных дыр. Самый очевидный путь образования чёрной дыры — коллапс ядра массивной звезды. Пока в недрах звезды не истощился запас ядерного топлива, её равновесие поддерживается за счёт термоядерных реакций (превращение водорода в гелий, затем в углерод и т. д. вплоть до железа у наиболее массивных звёзд). Выделяющееся при этом тепло

компенсирует потерю энергии, уходящей от звезды с излучением и звёздным ветром. Термоядерные реакции поддерживают высокое давление в недрах звезды, препятствуя её сжатию под действием собственной гравитации. Однако со временем ядерное топливо истощается, и звезда начинает сжиматься.

Наиболее быстро сжимается ядро звезды. При этом оно сильно разогревается (его гравитационная энергия переходит в тепло) и нагревает окружающую его оболочку. В итоге звезда теряет свои наружные слои в виде медленно расширяющейся планетарной туманности или катастрофически сброшенной оболочки сверхновой. Судьба сжимающегося ядра зависит от его массы. Расчёты показывают, что если масса ядра звезды не превосходит трёх масс Солнца, то она выигрывает «битву с гравитацией»: его сжатие останавливается давлением вырожденного вещества, и звезда превращается в белый карлик или нейтронную звезду. Но если масса ядра звезды более трёх солнечных, то уже ничто не сможет остановить его катастрофического коллапса, и оно быстро уйдёт под горизонт событий, став чёрной дырой. Как следует из приведенной выше формулы для r_g , чёрная дыра с массой $3 M_\odot$ имеет гравитационный радиус $r_g = 8,8$ км.

Астрономические наблюдения хорошо согласуются с этими расчётами: все компоненты двойных звёздных систем, проявляющие свойства чёрных дыр (а их известны уже десятки), имеют массы от 4 до $16 M_\odot$. Теория звёздной эволюции указывает, что за 13 млрд лет существования нашей Галактики, содержащей порядка 100 млрд звёзд, в результате коллапса наиболее массивных из них должно было образоваться несколько десятков миллионов чёрных дыр. К тому же чёрные дыры очень большой массы — от миллионов до миллиардов масс Солнца — могут находиться в ядрах крупных галактик, в том числе, и нашей. На это указывают астрономические наблюдения, хотя пути формирования этих гигантских чёрных дыр пока не вполне ясны.

Если в нашу эпоху высокая плотность вещества, необходимая для рождения чёрной дырой, может возникнуть лишь в сжима-

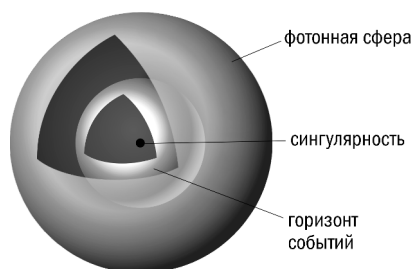
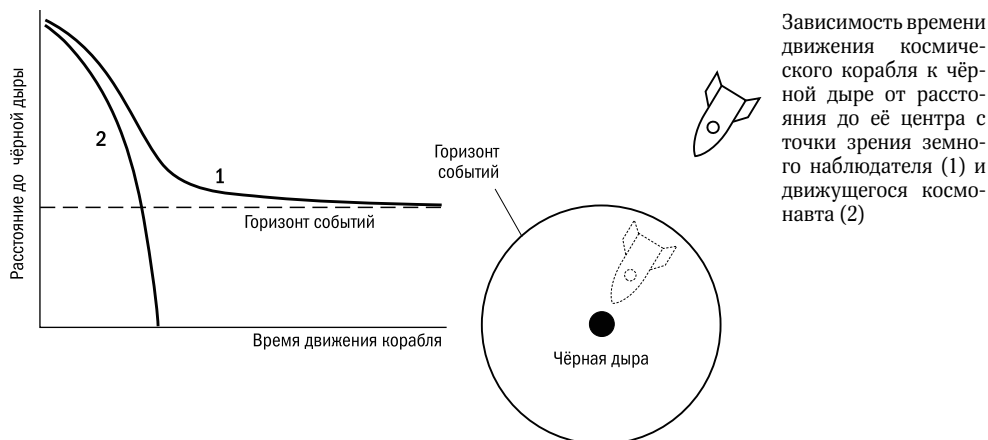


Схема неврашающейся чёрной дыры. Сингулярность, куда сжалась исходная материя, окружена сферическим горизонтом событий, радиус которого равен гравитационному радиусу r_g . Вблизи горизонта событий находится фотонная сфера — область пространства, где захваченные фотоны двигаются вокруг чёрной дыры по замкнутым траекториям.

ющихся ядрах массивных звёзд, то в далёком прошлом, сразу после Большого взрыва, с которого около 14 млрд лет назад началось расширение Вселенной, высокая плотность материи была повсюду. Поэтому небольшие флуктуации плотности в ту эпоху могли приводить к рождению чёрных дыр любой массы, в том числе и малой. Но самые маленькие из них в силу квантовых эффектов должны были испариться, потеряв свою массу в виде излучения и потоков частиц (так называемый эффект Хокинга, см. ниже). Но «первичные чёрные дыры» с массой более 10^{12} кг могли сохраниться до наших дней. Самые мелкие из них, массой 10^{12} кг (как у небольшого астероида), должны иметь размер порядка 10–15 м (как у протона или нейтрона).

Наконец, существует гипотетическая возможность рождения микроскопических чёрных дыр при взаимных соударениях быстрых элементарных частиц. Таков один из прогнозов теории струн — одной из конкурирующих сейчас физических теорий строения материи. Теория струн предсказывает, что пространство имеет более трёх измерений. Гравитация, в отличие от прочих сил, должна распространяться по всем этим измерениям и поэтому существенно усиливаться на коротких расстояниях. При мощном столкновении двух частиц, например, протонов, они могут сжаться достаточно сильно, чтобы родилась микроскопическая чёрная дыра. После этого она почти мгновенно разрушится («испарится»), но наблю-



Зависимость времени движения космического корабля к чёрной дыре от расстояния до её центра с точки зрения земного наблюдателя (1) и движущегося космонавта (2)

дение за этим процессом представляет для физики большой интерес, поскольку, испаряясь, дыра будет испускать все существующие в природе виды частиц. Если гипотеза теории струн верна, то рождение таких чёрных дыр может происходить при столкновениях энергичных частиц космических лучей с атомами земной атмосферы, а также в наиболее мощных ускорителях элементарных частиц, таких как Большой адронный коллайдер.

Свойства чёрных дыр. Вблизи чёрной дыры напряжённость гравитационного поля так велика, что физические процессы там можно описывать только с помощью релятивистской теории тяготения. Согласно ОТО, пространство и время искривляются гравитационным полем массивных тел, причём наибольшее искривление происходит вблизи чёрных дыр. Когда физики говорят об интервалах времени и пространства, они имеют в виду числа, считанные с каких-либо физических часов и линеек. Например, роль часов может играть молекула с определённой частотой колебаний, количество которых между двумя событиями можно называть «интервалом времени».

Важно, что гравитация действует на все физические системы одинаково: все часы показывают, что время замедляется, а все линейки, что пространство растягивается вблизи чёрной дыры. Это означает, что чёрная дыра искривляет вокруг себя геометрию пространства и времени. Вдали от чёрной дыры это искривление мало, а вблизи так велико, что лучи света могут двигаться

вокруг неё по окружности. Вдали от чёрной дыры её поле тяготения в точности описывается теорией Ньютона для тела такой же массы, но вблизи гравитация становится значительно сильнее, чем предсказывает Ньютонова теория.

Если бы мы могли наблюдать в телескоп за звездой в момент её превращения в чёрную дыру, то сначала увидели бы, как она всё быстрее сжимается, но по мере приближения её поверхности к гравитационному радиусу сжатие начинает замедляться, пока не остановится совсем. При этом приходящий от звезды свет будет слабеть и краснеть, пока окончательно не потухнет. Это происходит потому, что в борьбе с силой тяжести фотоны теряют энергию и им требуется всё больше времени, чтобы дойти до нас. Когда поверхность звезды достигнет гравитационного радиуса, покинувшему её свету потребуются бесконечное время, чтобы достичь любого наблюдателя, даже расположенного сравнительно близко к звезде (и при этом фотоны полностью потеряют свою энергию). Следовательно, мы никогда не дождёмся этого момента и тем более не увидим того, что происходит со звездой под горизонтом событий. Но теоретически этот процесс исследовать можно.

Расчёт идеализированного сферического коллапса показывает, что за короткое время вещество под горизонтом событий сжимается в точку, где достигаются бесконечно большие значения плотности и тяготения. Такую точку называют *сингулярностью*. Более того, математиче-

ский анализ показывает, что если возник горизонт событий, то даже несферический коллапс приводит к сингулярности. Однако всё это верно лишь в том случае, если общая теория относительности применима вплоть до очень малых пространственных масштабов, в чём пока нет уверенности. В микромире действуют квантовые законы, а квантовая теория гравитации ещё не создана. Ясно, что квантовые эффекты не могут остановить сжатие звезды в чёрную дыру, а вот предотвратить появление сингулярности они могли бы.

Изучая фундаментальные свойства материи и пространства-времени, физики считают одним из важнейших направлений исследование чёрных дыр, поскольку вблизи них проявляются скрытые свойства гравитации. Для поведения вещества и излучения в слабых гравитационных полях различные теории тяготения дают почти неразличимые прогнозы; однако в сильных полях, характерных для чёрных дыр, предсказания различных теорий существенно расходятся, что даёт ключ к выявлению лучшей среди них. В рамках наиболее популярной сейчас теории гравитации — ОТО Эйнштейна — свойства чёрных дыр изучены весьма подробно. Вот некоторые важнейшие из них.

1. Вблизи чёрной дыры время течёт медленнее, чем вдали от неё. Если удалённый наблюдатель бросит в сторону чёрной дыры зажжённый фонарь, то увидит, как фонарь будет падать всё быстрее и быстрее, но затем, приближаясь к поверхности Шварцшильда, начнёт замедляться, а его свет будет тускнеть и краснеть (поскольку замедлится темп колебания всех его атомов и молекул). С точки зрения далёкого наблюдателя фонарь практически остановится и станет невидим, так и не сумев пересечь поверхность чёрной дыры. Но если бы наблюдатель сам прыгнул туда, он за короткое время пересёк бы поверхность Шварцшильда и упал к центру чёрной дыры, будучи при этом, к сожалению, разорван её мощными приливными гравитационными силами, возникающими из-за разницы притяжения на разных расстояниях от центра.

2. Каким бы сложным ни было исходное тело, после его сжатия в чёрную дыру внеш-

ний наблюдатель может определить только три его параметра: полную массу, момент импульса (связанный с вращением) и электрический заряд. Все остальные особенности тела, — форма, распределение плотности, химический состав и др., — в ходе коллапса «стираются». Тот факт, что для стороннего наблюдателя структура чёрной дыры выглядит чрезвычайно простой, Джон Уилер выразил шутливым утверждением: «Чёрная дыра не имеет волос».

В процессе коллапса звезды в чёрную дыру за малую долю секунды (по часам удалённого наблюдателя) все её внешние особенности, связанные с исходной неоднородностью, излучаются в виде гравитационных и электромагнитных волн. Образовавшаяся стационарная чёрная дыра «забывает» всю информацию об исходной звезде, кроме трёх величин: полной массы, момента импульса (связанного с вращением) и электрического заряда. Изучая чёрную дыру, уже невозможно узнать, состояла ли исходная звезда из вещества или антивещества, была ли она вытянутой или сплюснутой, и т. п. В реальных астрофизических условиях заряженная чёрная дыра будет притягивать к себе из межзвёздной среды частицы противоположного знака, и её заряд быстро станет нулевым. Оставшийся стационарный объект либо будет невращающейся «шварцшильдовой чёрной дырой», которая характеризуется только массой, либо вращающейся «керровской чёрной дырой», которая характеризуется массой и моментом импульса.

3. Если исходное тело вращалось, то вокруг чёрной дыры сохраняется «вихревое» гравитационное поле, увлекающее все соседние тела во вращательное движение вокруг неё. Поле тяготения вращающейся чёрной дыры называют полем Керра, поскольку именно он нашёл решение соответствующих уравнений. Этот эффект характерен не только для чёрной дыры, но для любого вращающегося тела — даже для Земли: размещённый на искусственном спутнике Земли свободно вращающийся гироскоп испытывает медленную прецессию относительно далёких звёзд. Вблизи Земли этот эффект едва заметен и с трудом под-

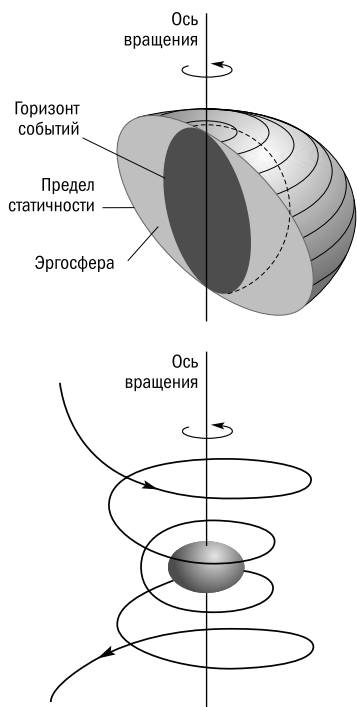


Схема вращающейся чёрной дыры в разрезе. Вверху: горизонт событий окружён эргосферой, в которой частицы вещества и фотоны непрерывно движутся, подхваченные вихревым гравитационным полем чёрной дыры. Внизу: луч света, проходящий вблизи вращающейся чёрной дыры, завихряет своё движение.

даётся измерению, но вблизи чёрной дыры он выражен гораздо сильнее: по скорости прецессии гироскопа можно измерить момент импульса чёрной дыры, хотя сама она не видна.

Чем ближе мы подходим к горизонту чёрной дыры, тем сильнее становится эффект увлечения «вихревым полем». Прежде чем достигнуть горизонта, мы окажемся на поверхности, где увлечение становится настолько сильным, что ни один наблюдатель не может оставаться неподвижным (т. е. быть «статическим») относительно далёких звёзд. На этой поверхности (называемой пределом статичности) и внутри неё все объекты должны двигаться по орбите вокруг чёрной дыры в том же направлении, в котором вращается сама дыра. Независимо от того, какую мощность развивают его реактивные двигатели, наблюдатель внутри предела статичности никогда не смо-

жет остановить своё вращательное движение относительно далёких звёзд.

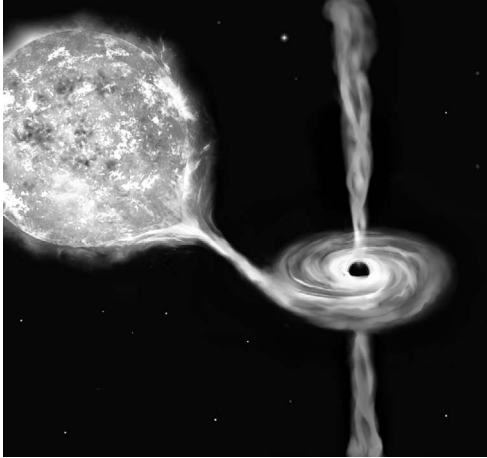
Предел статичности всюду лежит вне горизонта и соприкасается с ним лишь в двух точках, там, где они оба пересекаются с осью вращения чёрной дыры. Область пространства-времени, расположенная между горизонтом и пределом статичности, как и называется эргосферой. Объект, попавший в эргосферу, ещё может вырваться наружу. Поэтому, хотя чёрная дыра «всё съедает и ничего не отпускает», тем не менее, возможен обмен энергией между ней и внешним пространством. Например, пролетающие через эргосферу частицы или кванты могут уносить энергию её вращения. Эту возможность отбирать энергию у чёрной дыры впервые в 1969 г. предложил английский математик сэр Роджер Пенроуз (Sir Roger Penrose, р. 1931 г.), поэтому её называют «процессом Пенроуза».

4. Всё вещество внутри горизонта событий чёрной дыры непременно падает к её центру и образует сингулярность с бесконечно большой плотностью. Английский физик Стивен Хокинг (Stephen William Hawking, 1942–2018) определяет сингулярность как «место, где разрушается классическая концепция пространства и времени так же, как и все известные законы физики, поскольку все они формулируются на основе классического пространства-времени».

5. Кроме этого, С. Хокинг открыл возможность очень медленного самопроизвольного квантового «испарения» чёрных дыр. В 1974 г. он доказал, что чёрные дыры (не только вращающиеся, но любые) могут испускать вещество и излучение, однако заметно это будет лишь в том случае, если масса самой дыры относительно невелика. Мощное гравитационное поле вблизи чёрной дыры должно рождать пары частица–античастица; одна из частиц каждой пары поглощается дырой, а вторая испускается наружу. Например, чёрная дыра с массой 10^{12} кг должна вести себя как тело с температурой 10^{11} К, излучающее очень жёсткие γ -кванты и частицы. Идея об «испарении» чёрных дыр полностью противоречит классическому представлению о них как о телах, не способных излучать.

Поиски чёрных дыр. Расчёты в рамках ОТО указывают лишь на возможность существования чёрных дыр, но отнюдь не доказывают их наличия в реальном мире; открытие чёрной дыры стало бы важным шагом в развитии физики. Поиск изолированных чёрных дыр в космосе невероятно труден: требуется заметить маленький тёмный объект на фоне космической черноты. Но есть надежда обнаружить чёрную дыру по её взаимодействию с окружающими телами, например с близкими звёздами. Учитывая важнейшие свойства чёрных дыр — массивность, компактность и невидимость, — астрономы постепенно выработали стратегию их поиска. Попытки обнаружить невидимые массивные спутники в двойных звёздах не увенчались успехом, но после запуска на орбиту рентгеновских телескопов выяснилось, что чёрные дыры весьма активно проявляют себя в тесных двойных системах, где они отбирают вещество у соседней звезды и поглощают его, нагревая при этом до температуры в миллионы градусов и делая на короткое время источником рентгеновского излучения.

Поскольку в двойной системе чёрная дыра в паре с нормальной звездой обращается вокруг общего центра массы, удаётся, используя эффект Доплера, измерить скорость звезды и определить массу её невидимого компаньона. Астрономы выявили уже несколько десятков двойных систем, где масса невидимого компаньона превосходит $3 M_{\odot}$ и заметны характерные проявления активности вещества, движущегося вокруг компактного объекта, например очень быстрые колебания яркости потоков горячего газа, стремительно вращающегося вокруг невидимого тела. Особенно перспективной считают рентгеновскую двойную звезду V404 Лебедя, масса невидимого компонента которой оценивается не менее чем в $6 M_{\odot}$. Другие кандидаты в чёрные дыры находятся в двойных системах Лебедь X-1, LMC X-3, V616 Единорога, QZ Лисички, а также в рентгеновских новых Змееносец 1977, Муха 1981 и Скорпион 1994. Почти все они расположены в пределах нашей Галактики, а система LMC X-3 — в близкой к нам галактике Большое Магелланово Облако.



Аккреция с поверхности голубого гиганта на чёрную дыру. Рисунок

Другим направлением поиска чёрных дыр служит изучение ядер галактик. В них скапливаются и уплотняются огромные массы вещества, сталкиваются и сливаются звёзды, поэтому там могут формироваться сверхмассивные чёрные дыры, превосходящие по массе Солнце в миллионы и даже миллиарды раз. Они притягивают к себе окружающие звёзды, создавая в центре галактики пик яркости. Они разрушают близко подлетающие к ним звёзды, вещество которых образует вокруг чёрной дыры аккреционный диск и частично выбрасывается вдоль оси диска в виде быстрых струй и потоков частиц. Это не умозрительная теория, а процессы, реально наблюдаемые в ядрах некоторых галактик и указывающие на присутствие в них чёрных дыр с массами от 10^8 до $10^{10} M_{\odot}$. В последнее время получены весьма убедительные доказательства того, что и в центре нашей Галактики есть чёрная дыра с массой около 4 млн $M_{\odot}$. В научной и популярной литературе используется приблизительно такая классификация чёрных дыр по массе:

Класс	Масса	Размер
Сверхмассивная чёрная дыра	$\sim 10^5 - 10^{10} M_{\odot}$	$\sim 0,001 - 100$ а. е.
Чёрная дыра промежуточной массы	$\sim 10^3 M_{\odot}$	$\sim 10^3$ км
Чёрная дыра звёздной массы	$\sim 10 M_{\odot}$	~ 30 км
Микроскопическая чёрная дыра	$< M_{\text{Луны}}$	$< 0,1$ мм

С высокой степенью вероятности можно утверждать, что чёрные дыры звёздной массы и сверхмассивные чёрные дыры обнаружены в космическом пространстве в составе двойных звёзд и в ядрах галактик. Есть также указания, что чёрные дыры промежуточной массы могут находиться в ядрах некоторых шаровых звёздных скоплений. О существовании микроскопических чёрных дыр ничего не известно.

Вполне вероятно, что самые мощные процессы энерговыделения во Вселенной происходят с участием чёрных дыр. Именно их считают источником активности в ядрах квазаров — молодых массивных галактик. Именно их рождение, как полагают многие астрофизики, знаменуется самыми мощными взрывами во Вселенной, проявляющимися как гамма-всплески.

ЧЁРНЫЙ КАРЛИК — конечная точка эволюции вырожденных звёзд (например, белых карликов) после их охлаждения до такой степени, когда они практически перестают излучать. Чёрный карлик состоит из холодного вырожденного вещества, давление которого препятствует его гравитационному сжатию. По расчётам, для полного охлаждения белого карлика необходим триллион лет, а значит, пройдет ещё много времени, прежде чем во Вселенной появятся чёрные карлики. Впрочем, за несколько миллиардов лет белый карлик остывает настолько, что его уже почти невозможно заметить.

Многие авторы называют чёрными карликами не только остывшие белые карлики, но и остывшие нейтронные звёзды. Между ними действительно много общего. В то время как у белых карликов гравитации противодействует давление вырожденных электронов, у нейтронных звёзд эту роль играет давление вырожденных нейтронов. Остывают нейтронные звезды значительно быстрее белых карликов — всего лишь за миллионы лет.

При ещё более широком понимании термина «чёрный карлик» в эту группу включают и остывшие коричневые карлики — объекты субзвёздной массы, в эволюции которых термоядерные реакции никогда не играли существенной роли. В начале своей эволюции коричневые карлики разогрева-

ются за счёт гравитационного сжатия (плюс незначительную роль играет термоядерное горение дейтерия), а затем остывают в течение нескольких миллиардов лет. Желательно помнить, что чёрные карлики не имеют ничего общего с чёрными дырами.

ЧИСЛО ВОЛЬФА — один из индексов солнечной активности; наиболее простой, старый и общепотребительный из них. Его научное название — относительное цюрихское число солнечных пятен. Подсчитывается путём визуального наблюдения солнечного диска, спроецированного телескопом на белый экран. Значение числа Вольфа вычисляют по формуле $R = k(10g + s)$, где s (от *spot*) — количество солнечных пятен (несколько тёмных ядер, даже погруженных в общую полутень, считаются отдельными пятнами); g (от *group*) — количество групп пятен (каждое уединенное пятно, даже имеющее простую структуру, также считается группой); k — индивидуальный коэффициент наблюдателя; он нужен для того, чтобы приводить к единой системе подсчёты, сделанные разными наблюдателями, в различных условиях, на разных телескопах. Среднегодовые значения чисел Вольфа обычно лежат в диапазоне от 30 до 130, хотя за последние 300 лет менялись от 0 до 190. Данные о числах Вольфа, начиная с 1700 г., можно найти на сайте <http://www.sidc.be/silso/datafiles>.

ЧИСЛО ШТРЕЛЯ (англ. *Strehl ratio*) — мера качества оптической системы. Равно отношению реальной интенсивности в центре изображения точечного источника к теоретической интенсивности в центре совершенного дифракционно-ограниченного изображения, создаваемого идеальным телескопом того же диаметра. Из-за атмосферного размытия число Штреля у крупных наземных телескопов не превышает 0,1. Но применение систем адаптивной оптики позволяет достигать чисел Штреля более 0,9.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ — минимальное значение измеряемой величины (сигнала), которое ещё может быть зарегистрировано детектором. Величина предельной чувствительности детектирующей системы в большинстве случаев определяется её собственным шумом, поскольку для уверенного де-

тектирования необходимо достичь отношения сигнал/шум = 1 или выше.

Ш

ШАРОВЫЕ ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ (или просто «шаровые скопления») — звёздные скопления, отличающиеся от рассеянных скоплений большим количеством звёзд, их более высокой концентрацией к центру скопления и значительно большим возрастом, близким к возрасту Галактики, а может быть и превосходящим его. Обычно в шаровых скоплениях заключено 10^5 – 10^6 звёзд. В нашей Галактике обнаружено около 160 шаровых скоплений; всего их, вероятно, не более 200. Маленькие галактики вообще не содержат шаровых скоплений или содержат их всего несколько. А гигантские эллиптические галактики содержат тысячи шаровых скоплений. В галактике шаровые скопления движутся по вытянутым, хаотически ориентированным орбитам и относятся к населению II типа.

ШВАРЦШИЛЬДОВСКАЯ ЧЁРНАЯ ДЫРА — чёрная дыра, обладающая нулевым моментом импульса, т. е. невращающаяся, и электрически нейтральная. Свойства такой чёрной дыры зависят только от одного её параметра — массы. Название дано в честь Карла Шварцшильда, который в 1916 г. впервые получил точное решение уравнений общей теории относительности Эйнштейна, выражающее закон всемирного тяготения для статического сферически-симметричного случая и рассмотрел движение частиц вещества и света в окрестности массивного невращающегося тела. При этом он вывел выражение для критического («шварцшильдовского») радиуса тела, при котором свет не может покинуть его поверхность. Это стало первым точным описанием чёрной дыры.

ШВАРЦШИЛЬДОВСКИЙ РАДИУС — радиус горизонта событий, окружающего шварцшильдовскую чёрную дыру.

ШИРОКОУГОЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП — телескоп, предназначенный для наблюдений с большим полем зрения. Обычно подобный инструмент имеет небольшой объектив,

широкоугольный окуляр и равнозрачковое увеличение. Поле зрения широкоугольных телескопов составляет от 2° до 6° . Подобными характеристиками обладают и астрографы. Обычно это телескопы-рефракторы, телескопы-рефлекторы с фокальным корректором или катадиоптрические системы (Шмидта, Максудова).

ШИРОТА — одна из координат на поверхности тела сферической формы, например, географическая широта на Земле. Широта есть угол между объектом и плоскостью экватора, положительный к северу и отрицательный к югу от экватора.

ШИРОТА, астрономическая — угол между плоскостью земного экватора и отвесной линией в данной точке.

ШИРОТА, галактическая — угловое расстояние светила к северу (со знаком «+») или к югу (со знаком «-») от галактического экватора — большого круга, представляющего плоскость Млечного Пути.

ШИРОТА, географическая — величина дуги меридиана от экватора до данной точки. В Северном полушарии Земли отсчитывается от экватора в пределах от 0 до $+90^\circ$ (северная широта), в Южном полушарии — от 0 до -90° (южная широта).

ШИРОТА, геодезическая — угол между плоскостью земного экватора и перпендикуляром к поверхности сфероида, представляющего поверхность Земли.

ШИРОТА, геоцентрическая — угол с вершиной в центре Земли между заданным направлением и плоскостью земного экватора.

ШИРОТА, эклиптическая — угловое расстояние светила к северу или югу от эклиптики. Вместе с эклиптической долготой образует эклиптическую систему координат.

ШКАЛА ЗВЁЗДНЫХ ВЕЛИЧИН — логарифмическая шкала, используемая для сравнения освещённостей (потоков излучения) от различных объектов или отдельных их частей; за основание логарифмов принято число $\sqrt[5]{100} = 2,5118864...$, десятичный логарифм которого в точности равен 0,4. Единица ступени — 1 звёздная величина; обозначается 1^m (верхний индекс «m» набирается курсивом, чтобы отличить от минуты вре-

мени, у которой индекс прямой, 1^m). Возрастание на 1^m соответствует уменьшению освещённости в $100,4 \approx 2,512$ раза (см. *Звёздная величина*). Начало отсчёта (нуль-пункт) устанавливается по специально выбранным звёздам, называемым стандартами.

ШКАЛА КОСМИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЙ — цепь перекрывающихся по своим возможностям методов, с помощью которых астрономы устанавливают расстояния до различных объектов Вселенной — от ближайших планет до самых удалённых галактик и квазаров. Шкала расстояний строится как своеобразная лестница, где каждая ступень — это один из методов, работоспособный в определённом диапазоне расстояний. Каждая ступень (метод) опирается на предыдущие. На каждой ступени неизбежна некоторая неточность, неопределённость в измерении расстояний. Каждая следующая ступень получает от предыдущей весь груз её проблем, поэтому ошибка измерения расстояния до объекта увеличивается с ростом расстояния. В результате поразительная точность первой ступени шкалы превращается в огромную неопределённость на верхней её ступени.

Расстояния внутри Солнечной системы определены разными методами с предельной точностью: для этого используются радиолокация, хронометраж сигналов межпланетных зондов и измерение тригонометрических параллаксов планет и астероидов.

Расстояния до звёзд, расположенных в пределах нескольких тысяч световых лет, измеряют различными геометрическими методами. Наиболее точные значения основаны на измерении годовых параллаксов примерно 1000 близлежащих звёзд, проведенных спутником «Гиппаркос». На таких же расстояниях используют метод группового параллакса, основанный на наблюдении движущихся скоплений. А метод совмещения главных последовательностей на диаграмме Герцшпрунга — Рассела работает для рассеянных скоплений на расстояниях до 20 кпк.

За пределами нашей Галактики наиболее надёжно расстояния определяются с помощью зависимости период — светимость

цефеид и других ярких звёзд, светимость которых известна, например звёзд типа RR Лиры и новых. Этот метод можно использовать до расстояний, на которых цефеиды и другие звезды можно различить в их галактиках. А это возможно до расстояний 100 млн световых лет. Для более далёких галактик нужны стандартные свечи, которые ярче цефеид. В этом случае можно использовать шаровые скопления и сверхновые типа Ia, которые можно откалибровать как индикаторы расстояний, используя цефеиды соседних галактик. Использовать так откалиброванные шаровые скопления можно до расстояний примерно 200 миллионов световых лет, а по сверхновым расстояния определяются примерно до 5 млрд св. лет.

За этими пределами можно увидеть только целые галактики, и в этом случае используют соотношения Талли — Фишера (Tully — Fisher) и Фабера — Джексона (Faber — Jackson), которые связывают измеряемые характеристики галактики или групп галактик с их светимостью. Внегалактические индикаторы расстояний позволяют найти значение постоянной Хаббла, определяющей скорость расширения Вселенной. Зная постоянную Хаббла и измеряя красные смещения удаляющихся галактик и квазаров, можно оценить расстояния до них. Но этот метод не очень точен, так как современное значение постоянной Хаббла измерено с немалой погрешностью: приблизительно 71 ± 4 км/(с Мпк). К тому же в прошлом это значение было иным.

Щ

ЩЕЛЬ КАССИНИ, или деление Кассини — тёмный промежуток между двумя наиболее яркими кольцами Сатурна — кольцами А и В. Ширина щели около 5000 км. Открыта Дж. Д. Кассини в 1675 г. Тогда же он предположил, что кольца состоят из большого количества отдельных небольших частиц.

ЩИТ — маленькое экваториальное созвездие, введенное Я. Гевелием под именем Щит Собесского в честь знаменитого полководца, польского короля Яна Собесского. Лежит в восточной ветви Млечного Пути, к северу от Стрельца. В нём нет ярких звёзд. Об-

разцом короткопериодических пульсирующих переменных служит звезда δ Sct (5^m , период 4,7 час). Необычная полуправильная пульсирующая переменная R Sct похожа как на цефеиды, так и на долгопериодические красные переменные — мириды. Рассеянное скопление Дикая Утка (M11) можно наблюдать в небольшой телескоп на расстоянии около 2° к юго-востоку от звезды β Sct; оно содержит 500 звёзд ярче 14^m и представляет изумительное зрелище.



ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД — изменение внутреннего строения, физических характеристик и химического состава звёзд со временем. Важнейшие задачи теории эволюции — объяснение образования звёзд, изменения их наблюдаемых характеристик (размера, светимости, температуры поверхности и др.), исследование генетической связи различных групп звёзд, анализ их конечных состояний. Поскольку в известной нам части Вселенной звёзды служат важнейшими источниками энергии и практически единственными преобразователями элементарного состава вещества, изучение эволюции звёзд является одним из главных направлений астрофизики. Более того, поскольку жизнь на Земле целиком зависит от Солнца, только адекватное представление об эволюции звёзд даст основу для правильного представления о будущем земной биосферы и человечества как его части.

Звезда в стационарном состоянии — это газовый шар, находящийся в гидростатическом и тепловом равновесии, когда действие сил тяготения уравновешено внутренним давлением, а потери энергии на излучение компенсируются энергией, выделяющейся в недрах звезды. «Рождение» звезды — это образование гидростатически равновесного объекта, излучение которого поддерживается за счёт собственных источников энергии. «Смерть» звезды — необратимое нарушение равновесия, ведущее к разрушению звезды или к её катастрофическому сжатию.

Для понимания эволюции звёзд принципиальное значение имеет вопрос об источ-

никах их энергии. Потери энергии на излучение с поверхности могут восполняться за счёт ядерных реакций, охлаждения недр и выделения гравитационной потенциальной энергии при сжатии. Охлаждение и гравитационное сжатие способны, например, поддерживать светимость Солнца (масса $M_\odot = 1,99 \cdot 10^{30}$ кг, светимость $L_\odot = 3,86 \times 10^{26}$ Вт) в течение 10^7 лет, звезды с массой $30 M_\odot$ и $L = 10^5 L_\odot$ — в течение 10^5 лет, а ядерные реакции — соответственно 10^{10} и 10^6 лет. Геологические данные свидетельствуют о том, что светимость Солнца была практически неизменной в течение 10^9 лет. Отсюда следует, что основным источником энергии могут быть только ядерные реакции.

Выделение гравитационной энергии может играть определяющую роль лишь тогда, когда температура недр звезды недостаточна для того, чтобы ядерное энерговыделение могло компенсировать потери энергии, и звезда в целом или её часть должна сжиматься для поддержания равновесия. Это происходит в период формирования звезды, пока температура не достигла уровня, необходимого для термоядерных реакций. Высвечивание тепловой энергии становится важным лишь после исчерпания запасов ядерной энергии. Таким образом, эволюцию звезды можно представить как последовательную смену источников её энергии.

Характерное время эволюции звезды слишком велико для того, чтобы можно было всю её проследить непосредственно. Поэтому основным методом исследования эволюции звёзд служит построение последовательностей их математических моделей, описывающих изменения внутреннего строения и химического состава звёзд со временем. Эволюционные последовательности затем сопоставляются с результатами наблюдений, например, с диаграммой Герцшпрунга—Рассела, суммирующей наблюдения большого числа звёзд, находящихся на разных стадиях эволюции. Особо важную роль играет сравнение с ГР-диаграммами звёздных скоплений, поскольку все звёзды каждого скопления имеют одинаковый начальный химический состав и образовались практически одновременно. По ГР-диаграммам скоплений различ-

ного возраста удалось установить направление эволюции звёзд. Детально эволюционные последовательности рассчитываются путём численного решения системы дифференциальных уравнений, описывающих распределение массы, плотности, температуры и светимости в недрах звезды, к которым добавляются уравнение состояния, законы энергосвечения и непрозрачности звёздного вещества и уравнения, описывающие изменение химического состава звезды со временем.

Ход эволюции звезды зависит в основном от её массы и исходного химического состава. Определённую роль могут играть вращение звезды и её магнитное поле, однако влияние этих факторов ещё недостаточно исследовано. Химический состав звезды зависит от времени, когда она образовалась, и от её положения в Галактике в момент образования. Звезды первого поколения сформировались из вещества, состав которого определялся космологическими условиями. По-видимому, в нём было примерно 75% по массе водорода, 25% гелия и ничтожная примесь дейтерия и лития. В ходе эволюции звёзд первого поколения образовались тяжёлые элементы (следующие за гелием), которые были выброшены в межзвёздное пространство в результате истечения вещества из звёзд или при взрывах звёзд. Звёзды последующих поколений сформировались уже из вещества, содержавшего до 3–4% (по массе) тяжёлых элементов. Наиболее непосредственным указанием на то, что звёздообразование в Галактике происходит и в настоящее время, является существование массивных ярких звёзд спектральных классов О и В, время жизни которых не может превосходить $\sim 10^7$ лет. Скорость звёздообразования в современную эпоху оценивается в $5 M_{\odot}$ в год.

Формирование звёзд. Согласно наиболее распространённой точке зрения, звёзды образуются в результате гравитационной конденсации вещества межзвёздной среды. Необходимое для этого разделение межзвёздной среды на две фазы — плотные холодные облака и разреженную среду с более высокой температурой — может происходить под воздействием тепловой неустой-

чивости Рэлея — Тейлора в межзвёздном магнитном поле.

Газово-пылевые комплексы массой 10^5 – $10^6 M_{\odot}$, характерным размером (10–100) пк и концентрацией частиц $n \sim 10^2 \text{ см}^{-3}$ действительно наблюдаются благодаря излучению ими радиоволн. Сжатие (коллапс) таких облаков требует определённых условий: гравитационная энергия связи частиц облака должна превосходить сумму энергии теплового движения частиц, энергии вращения облака как целого и магнитной энергии облака (критерий Джинса). Если учитывается только энергия теплового движения, то с точностью до множителя порядка единицы критерий Джинса записывается в виде:

$$M > M_J \approx 10 M_{\odot} T^{3/2} n^{-1/2},$$

где M — масса облака, T — температура газа в кельвинах, n — число частиц в 1 см^3 . При типичных для современных межзвёздных облаков температурах $T \approx (10\text{--}30) \text{ К}$ могут сколлапсировать лишь облака с массой не меньшей $10^2 M_{\odot}$. Критерий Джинса указывает, что для образования звёзд реально наблюдаемого спектра масс концентрация частиц в коллапсирующих облаках должна достигать $(10^3\text{--}10^6) \text{ см}^{-3}$, т. е. в 10–1000 раз превышать наблюдаемую в типичных облаках. Однако такие концентрации частиц могут достигаться в недрах облаков, уже начавших коллапс. Отсюда следует, что звездообразование происходит путём последовательной, осуществляющейся в несколько этапов, фрагментации массивных облаков. В этой картине естественно объясняется рождение звёзд группами — скоплениями. При этом пока неясными остаются вопросы, относящиеся к тепловому балансу в облаке, полю скоростей в нем, механизму, определяющему спектр масс фрагментов.

Коллапсирующие объекты звёздной массы называют протозвёздами. Коллапс сферически-симметричной невращающейся протозвезды без магнитного поля происходит в несколько этапов. Вначале облако однородно и изотермично. Оно прозрачно для собственного излучения, поэтому коллапс идёт с объёмными потерями энергии, главным образом за счёт теплового излучения пыли, которой при столкновениях пе-

редают свою кинетическую энергию частицы газа. В однородном облаке нет градиента давления, и сжатие начинается в режиме свободного падения с характерным временем $t_{\text{ff}} = (3\pi/32G\rho)^{1/2}$, где G — гравитационная постоянная, ρ — плотность облака. С началом сжатия возникает волна разрежения, перемещающаяся к центру со скоростью звука, а так как коллапс происходит быстрее там, где плотность выше, протозвезда разделяется на компактное ядро и протяжённую оболочку, в которой вещество распределяется по закону $r \sim r^{-2}$.

Когда концентрация частиц в ядре достигает $\sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$, оно становится непрозрачным для ИК-излучения пылинок. Выделяющаяся в ядре энергия медленно просачивается к поверхности благодаря лучшей теплопроводности. Температура начинает повышаться почти адиабатически, это приводит к росту давления, и ядро приходит в состояние гидростатического равновесия. Оболочка продолжает падать на ядро, и на его периферии возникает ударная волна. Параметры ядра в это время слабо зависят от общей массы протозвезды: $M_{\text{я}} \approx 5 \cdot 10^{-3} M_{\odot}$, $r_{\text{я}} \approx 102 R_{\odot}$, $\rho \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ г/см}^3$, $T_{\text{я}} \approx 200 \text{ К}$.

По мере увеличения массы ядра за счёт аккреции его температура изменяется практически адиабатически, пока не достигнет $T_{\text{я}} \approx 2000 \text{ К}$, когда начинается диссоциация молекул H_2 . В результате расхода энергии на диссоциацию, а не на увеличение кинетической энергии частиц значение показателя адиабаты g становится меньше $4/3$, изменения давления не способны компенсировать силы тяготения, и ядро повторно коллапсирует. Образуется новое ядро с параметрами $M \approx 10^{-3} M_{\odot}$, $r \approx 1 R_{\odot}$, $\rho \approx 2 \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^3$, $T \approx 2 \cdot 10^4 \text{ К}$, окружённое ударным фронтом. На это внутреннее ядро аккрецируют остатки первого ядра. Подобная же перестройка ядра происходит при ионизации водорода. Дальнейший рост ядра за счёт вещества оболочки продолжается до того момента, когда всё вещество упадёт на звезду либо рассеется под действием давления излучения или звёздного ветра, если ядро достаточно массивно (см. *Звезда-кокон*). У протозвёзд с $M < 2 M_{\odot}$ характерное время аккреции вещества оболочки $t_{\text{а}} > t_{\text{КН}}$, поэтому их

светимость определяется энерговыделением сжимающихся ядер.

Звезда, состоящая из ядра и оболочки, наблюдается как ИК-источник из-за переработки излучения в оболочке (пыль оболочки, поглощая фотоны УФ-излучения ядра, излучает в ИК-диапазоне). Когда оболочка становится оптически тонкой, протозвезда начинает наблюдаться как обычный объект звёздной природы. У наиболее массивных звёзд оболочки сохраняются до начала термоядерного горения водорода в центре звезды. Давление излучения, судя по расчётам, должно ограничивать массу звёзд величиной $\approx (50\text{--}60) M_{\odot}$. Если даже и образуются более массивные звезды, то они оказываются пульсационно-неустойчивыми и могут потерять значительную часть массы на стадии горения водорода в ядре.

Продолжительность стадии коллапса и рассеяния протозвёздной оболочки того же порядка, что и время свободного падения для родительского облака, т. е. $10^5\text{--}10^6$ лет. Освещённые ядром сгустки тёмного вещества остатков оболочки, ускоренные звёздным ветром, отождествляются с объектами Хербига — Аро (звездобразными сгущениями, имеющими эмиссионный спектр). Звёзды малых масс, когда они становятся видимыми, находятся в области ГР-диаграммы, занимаемой звёздами типа Т Тельца (карликовыми вспыхивающими звёздами); более массивные — в области, где находятся эмиссионные звезды Хербига (неправильные переменные звёзды ранних спектральных классов с эмиссионными линиями в спектрах).

У звёзд малых масс в момент, когда устанавливается гидростатическое равновесие, условия в ядрах таковы, что энергия в них переносится конвекцией. Расчёты показывают, что температура поверхности полностью конвективной звезды почти постоянна. Радиус звезды непрерывно уменьшается, так как она продолжает сжиматься. При неизменной температуре поверхности и уменьшающемся радиусе светимость звезды должна падать и на ГР-диаграмме этой стадии эволюции соответствуют вертикальные участки треков.

По мере продолжения сжатия темпера-

тура в недрах звезды повышается, вещество становится более прозрачным, и у звёзд с $M > 0,3 M_{\odot}$ возникают лучистые ядра, но оболочки остаются конвективными. Менее массивные звезды остаются полностью конвективными. Их светимость регулируется тонким лучистым слоем в фотосфере. Чем массивнее звезда и чем выше её эффективная температура, тем больше у неё лучистое ядро (в звездах с $M > 3 M_{\odot}$ лучистое ядро возникает сразу). В конце концов практически вся звезда (за исключением поверхностной конвективной зоны у звёзд с массой $M \leq 1,5 M_{\odot}$) переходит в состояние лучистого равновесия, при котором вся выделяющаяся в ядре энергия переносится излучением.

Эволюция на основе ядерных реакций.

При температуре в ядрах $\sim 10^6$ К начинаются первые ядерные реакции — выгорают дейтерий, литий, бор. Первичное количество этих элементов настолько мало, что их выгорание практически не выдерживает сжатия. Сжатие прекращается, когда температура в центре звезды достигает $\sim 10^6$ К и загорается водород, так как энергии, выделяющейся при термоядерном горении водорода, достаточно для компенсации потерь на излучение. Однородные звезды, в ядрах которых горит водород, образуют на ГР-диаграмме начальную главную последовательность (НГП). Массивные звёзды достигают НГП быстрее звёзд малой массы, так как у них скорость потерь энергии на единицу массы, а следовательно, и темп эволюции выше, чем у маломассивных звёзд.

Эволюция звезды происходит на основе ядерного горения. Ядерное горение может происходить до образования элементов группы железа, у которых наибольшая среди всех ядер энергия связи. При $T \leq 18 \cdot 10^6$ К основным источником энергии служит реакция водородного цикла, при больших T — реакции углерод-азотного (CNO) цикла. Побочным эффектом CNO-цикла является установление равновесных концентраций нуклидов ^{14}N , ^{12}C , ^{13}C — соответственно $\approx 95\%$, $\approx 4\%$ и 1% по массе. Преобладание азота в слоях, где происходило горение водорода, подтверждается результатами наблюдений звёзд Вольфа — Райе, у которых эти слои оказываются на поверхности в результате

потери внешних слоёв. У звёзд, в центре которых реализуется CNO-цикл ($M > 1 M_{\odot}$), возникает конвективное ядро. Причина этого в очень сильной зависимости энерговыделения от температуры: $\epsilon \sim T^{16} - T^{20}$. Поток же лучистой энергии $\sim T^4$, следовательно, он не может перенести всю выделяющуюся энергию, и должна возникнуть конвекция, более эффективная, чем лучистый перенос. У наиболее массивных звёзд конвекцией охвачено более 50% массы звёзд.

Значение конвективного ядра для эволюции определяется тем, что ядерное горение равномерно истощается в области, значительно большей, чем область эффективного горения, в то время как у звёзд без конвективного ядра оно вначале выгорает лишь в малой окрестности центра, где температура достаточно высока. Время выгорания водорода заключено в пределах от $\sim 10^{10}$ лет для $M \approx 1 M_{\odot}$ до $\approx 3 \cdot 10^6$ лет для $M \approx 50 M_{\odot}$. Время всех последующих стадий ядерного горения не превосходит 10% времени горения водорода, поэтому звезды на стадии горения водорода образуют на ГР-диаграмме густонаселенную область — главную последовательность (ГП).

У звёзд с $M \leq 0,08 M_{\odot}$ температура в центре никогда не достигает значений, необходимых для загорания основного, лёгкого, изотопа водорода (^1H); они сжимаются и некоторое время поддерживают своё излучение за счёт выделения гравитационной энергии. Если их масса лежит в интервале от 0,01 до $0,08 M_{\odot}$, то они становятся коричневыми карликами. Это объекты промежуточного типа между звёздами и планетами. По сравнению с планетами, вообще не способными к термоядерному синтезу, коричневые карлики на начальном этапе своей жизни всё же разогреваются настолько, что сжигают в термоядерных реакциях некоторые редкие элементы, например, тяжёлый изотоп водорода — дейтерий (^2H), а также литий. Это делает их на короткое время похожими на звёзды. Затем они продолжают гравитационное сжатие, которое прекращается, когда карлики достигают состояния, близкого к состоянию планеты-гиганта (см. *Коричневые карлики*). Остывая, они становятся «чёрными» карликами.

Основные стадии ядерной эволюции с момента выхода на НПП

Ядерное топливо	Продукты горения	Характерная температура, К	Энерговыведение, эрг/г	Частицы, осуществляющие основной отвод энергии	Длительность от времени жизни звезды
H	He	$(1-3) \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^{18}$	Фотоны	$\approx 90\%$
He	C, O	$2 \cdot 10^8$	$7 \cdot 10^{17}$	Фотоны	$\leq 10\%$
C	Ne, Na, Mg	$1 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{17}$	Нейтрино	$< 1\%$
Ne	O, Mg	$1,3 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{17}$	Нейтрино	$< 1\%$
O	Элементы от Si до Ca	$1,8 \cdot 10^9$	$5 \cdot 10^{17}$	Нейтрино	$< 1\%$
Si	Элементы от Sc до Ni	$3,4 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^{17}$	Нейтрино	$< 1\%$

Выгорание водорода приводит к увеличению средней молекулярной массы вещества ядра, и поэтому для поддержания гидростатического равновесия давление в центре должно возрастать, что влечёт за собой увеличение температуры в центре и градиента температуры по радиусу звезды, а следовательно — к росту светимости. К увеличению светимости приводит также и уменьшение непрозрачности вещества с ростом температуры. Ядро сжимается для поддержания условий ядерного энерговыделения с уменьшением содержания водорода, а оболочка расширяется из-за необходимости перенести возросший поток энергии от ядра. На ГР-диаграмме звезда перемещается вправо-вверх от НПП. Уменьшение непрозрачности приводит к отмиранию конвективных ядер у всех звёзд, кроме наиболее массивных. Темп эволюции массивных звёзд наиболее высок, и они первыми покидают ГП. Время жизни на ГП составляет для звёзд с $M = 15 M_{\odot}$ около 10 млн лет, с $M = 5 M_{\odot}$ около 70 млн лет, а с $M \approx 1 M_{\odot}$ около 10 млрд лет.

Когда содержание водорода в ядре уменьшается до $\approx 1\%$, расширение оболочек звёзд с $M > M_{\odot}$ сменяется общим сжатием звезды, необходимым для поддержания энерговыделения. Сжатие оболочки вызывает нагрев водорода в слое, прилегающем к гелиевому ядру, до температуры его термоядерного горения, и возникает слоевой источник энерговыделения. У звёзд с массой $M \leq M_{\odot}$, у которых ϵ меньше зависит от температуры и область энерговыделения не столь сильно концентрируется к центру, стадия общего сжатия отсутствует.

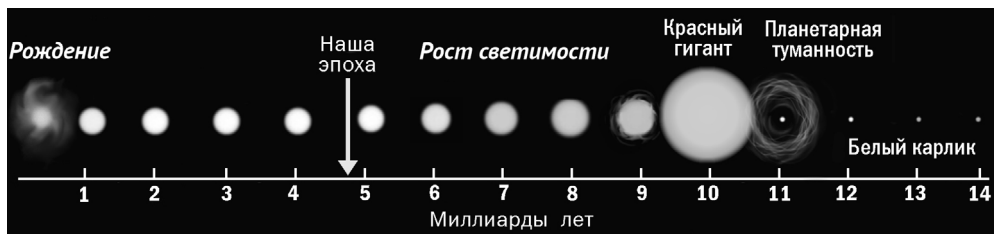
Эволюция звёзд после выгорания водорода зависит от их массы. Важнейшим фактором, влияющим на ход эволюции звёзд

с массой $M \leq 2,5 M_{\odot}$, является вырождение газа электронов при больших плотностях. Это не позволяет их ядрам увеличивать свою массу выше предела Чандрасекара $M_{\text{Ch}} \approx 1,4 M_{\odot}$ (см. *Предел Чандрасекара*). У звёзд малых масс вырождение играет заметную роль уже в процессе образования гелиевых ядер.

Второй фактор, определяющий эволюцию звёзд на поздних стадиях, — это нейтринные потери энергии. В звёздных недрах при $T \sim 10^8$ К основную роль в рождении нейтрино играют: фотонейтринный процесс $\gamma + e^- \rightarrow e^- + n + \bar{\nu}$, распад квантов плазменных колебаний (плазмонов) на пары нейтрино-антинейтрино ($\nu, \bar{\nu}$), аннигиляция пар электрон-позитрон ($e^- + e^+ \rightarrow n + \bar{\nu}$) и урка-процессы (см. *Урка-процесс*). Важнейшая особенность нейтрино состоит в том, что вещество звезды для них практически прозрачно, поэтому нейтрино беспрепятственно уносят энергию из звезды.

Гелиевое ядро, в котором ещё не возникли условия для горения гелия, сжимается. Температура в слоевом источнике, прилегающем к ядру, увеличивается, скорость горения водорода возрастает. Необходимость переноса возросшего потока энергии приводит к расширению оболочки, на что тратится часть энергии. Поскольку светимость звезды не изменяется, температура её поверхности падает, и на ГР-диаграмме звезда перемещается в область, занимаемую красными гигантами. Время перестройки звезды на два порядка меньше времени выгорания водорода в ядре, поэтому между полосой ГП и областью красных сверхгигантов мало звёзд.

С уменьшением температуры оболочки возрастает её непрозрачность, вследствие этого появляется внешняя конвективная



Эволюция Солнца. Размеры показаны не в масштабе. Эволюционный путь звезды массой $1 M_{\odot}$ на диаграмме «светимость — температура поверхности». Пунктирные прямые показывают радиус звезды. Кривая 1 — сжатие на стадии протозвезды. Кривая 2 — расширение на стадии красного гиганта. В точке А в ядре начинаются реакции горения водорода; в точке В горение перемещается в слой над ядром, а само гелиевое ядро начинает сжиматься. Между точками А и В звезда проводит 80% своей жизни.

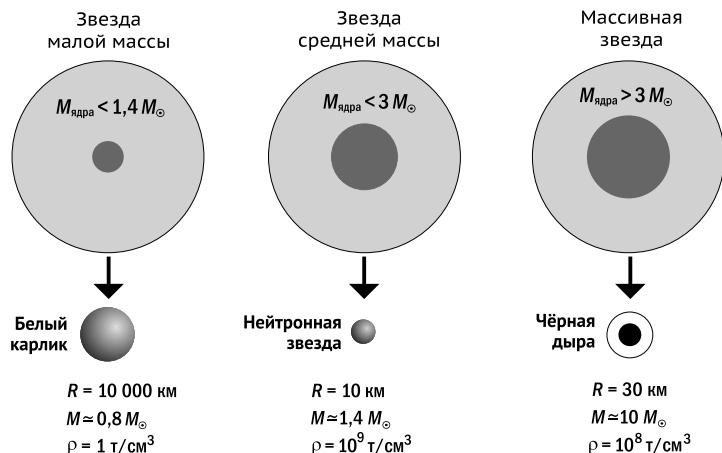
зона и возрастает светимость звезды. Отвод энергии из ядра посредством теплопроводности вырожденных электронов и нейтринных потерь у звезд с $M \leq 2,5 M_{\odot}$ оттягивает момент загорания гелия. Температура начинает заметно расти лишь тогда, когда ядро становится почти изотермичным. Горение ${}^4\text{He}$ определяет эволюцию звезд с момента, когда энерговыделение превышает потери энергии путём теплопроводности и излучения нейтрино. Это же условие относится к горению всех последующих видов ядерного топлива.

Примечательная особенность звёздных ядер из вырожденного газа, охлаждаемых нейтрино, — это «конвергенция» — сближение треков, которые характеризуют соотношение плотности ρ_c и температуры T_c в центре звезды. Скорость энерговыделения при сжатии ядра определяется скоростью присоединения вещества к нему через слоевой источник, которая зависит только от массы ядра при данном виде топлива. В ядре должен поддерживаться баланс притока и оттока энергии, поэтому в ядрах звезд устанавливается одинаковое распределение температуры и плотности. К моменту загорания ${}^4\text{He}$ масса ядра $M_c \approx 0,4\text{--}0,5 M_{\odot}$ в зависимости от содержания тяжёлых элементов. В ядрах из вырожденного газа загорание ${}^4\text{He}$ имеет характер теплового взрыва, так как энергия, выделяющаяся при горении, идёт на увеличение энергии теплового движения электронов, но давление с ростом температуры почти не изменяется до тех пор, пока тепловая энергия электронов не сравняется с энергией вырожденного газа электронов. Тогда вырождение снимается и ядро быстро расши-

ряется — происходит гелиевая вспышка. Вероятно, гелиевые вспышки сопровождаются потерей звёздного вещества. В шаровых звёздных скоплениях, где массивные звезды уже давно закончили эволюцию и красные гиганты имеют массы $\approx 1 M_{\odot}$, звезды на стадии горения гелия находятся на горизонтальной ветви ГР-диаграммы.

В гелиевых ядрах звезд с $M > 2,5 M_{\odot}$ газ не вырожден, ${}^4\text{He}$ загорается спокойно, но ядра также расширяются из-за возрастания T_c . У наиболее массивных звезд загорание ${}^4\text{He}$ происходит, когда они ещё являются голубыми сверхгигантами. Расширение ядра ведёт к уменьшению pT в области водородного слоевого источника, и светимость звезды после гелиевой вспышки падает. Для поддержания теплового равновесия оболочка сжимается, и звезда уходит из области красных сверхгигантов. Когда ${}^4\text{He}$ в ядре истощается, снова начинается сжатие ядра и расширение оболочки, звезда опять становится красным сверхгигантом. Образуется слоевой источник горения ${}^4\text{He}$, который доминирует в энерговыделении. Снова возникает внешняя конвективная зона. По мере выгорания гелия и водорода толщина слоевых источников уменьшается. Тонкий слой горения гелия оказывается термически неустойчивым, так как при очень сильной чувствительности энерговыделения к температуре ($\epsilon \sim T_{40}$) теплопроводность вещества недостаточна, чтобы погасить тепловые возмущения в слое горения. При тепловых вспышках в слое возникает конвекция. Если она проникает в слой, богатые водородом, то в результате медленного процесса нейтронного захвата (s-процесса) син-

Конечные продукты эволюции звёзд разных масс.



тезируются элементы с атомными массами $A \leq 209$ от ^{22}Ne до ^{209}Bi .

Давление излучения на пыль и молекулы, образующиеся в холодных протяжённых оболочках красных сверхгигантов, приводит к непрерывной потере вещества с темпом до $(10^{-6} - 10^{-5}) M_{\odot}$ в год (см. *Звёздный ветер*). Непрерывная потеря массы может дополняться потерями, обусловленными неустойчивостью слоевого горения или пульсациями, что может привести к выбросу одной или нескольких оболочек. Когда количество вещества над углеродно-кислородным ядром становится меньшим некоторого предела, оболочка для поддержания температуры в слоях горения вынуждена сжиматься до тех пор, пока сжатие способно поддерживать горение; звезда на ГР-диаграмме смещается почти горизонтально влево. На этом этапе неустойчивость слоёв горения также может приводить к расширению оболочки и потере вещества. Пока звезда достаточно горяча, она наблюдается как ядро планетарной туманности с одной или несколькими оболочками. Когда слоевые источники смещаются к поверхности звезды настолько, что температура в них становится ниже необходимой для ядерного горения, звезда охлаждается, превращаясь в белый карлик с $M < 1.4 M_{\odot}$, излучающий за счёт расхода тепловой энергии ионного компонента его вещества. Характерное время охлаждения белых карликов $\sim 10^9$ лет. Нижняя граница масс одиночных звёзд, превращающих-

ся в белые карлики, неясна, она оценивается в $3 - 6 M_{\odot}$. У звёзд с $M < 8 M_{\odot}$ электронный газ вырождается на стадии роста углеродно-кислородных (C, O-) ядер звёзд. Как и в гелиевых ядрах звёзд, из-за нейтринных потерь энергии происходит «конвергенция» условий в центре, и к моменту загорания углерода в C, O-ядре $M_c \approx 1.4 M_{\odot}$, $T_c \approx 3 \cdot 10^8$ K, $\rho_c \approx 2 \cdot 10^9$ г/см³. Загорание ^{12}C при таких условиях, скорее всего, имеет характер взрыва и приводит к полному разрушению звезды. Полного разрушения может не произойти, если $\rho_c \geq 5 \cdot 10^9$ г/см³. Такая плотность достижима, когда скорость роста ядра определяется аккрецией вещества спутника в тесной двойной системе.

Конечные стадии эволюции. У звёзд с $M > 8 M_{\odot}$ в центральной области в принципе могут последовательно выгореть кислород, неон, магний, сера, кремний и образоваться ядро, состоящее из элементов группы железа — от Sc до Ni. Условия в центре звезды при этом таковы, что загорание каждого очередного элемента происходит, когда масса ядра звезды, состоящего из этого элемента, близка к M_{Ch} . Звезда приобретает структуру, подобную «луковице»: железное ядро окружено многочисленными слоями из продуктов ядерного горения на предыдущих стадиях. После образования железного ядра, а в некоторых случаях и раньше, происходит гравитационный коллапс — потеря звездой гидродинамической устойчивости, когда показатель адиабаты γ становится меньше $4/3$, так как при этом обусловлен-

ное ростом плотности увеличение давления не способно остановить сжатие. Причинами понижения γ могут быть: захват электронов ядрами ^{20}O и ^{24}Mg в O-Ne-Mg-ядре звёзд с массой $(8\text{--}12)M_{\odot}$, фотодиссоциация (с большой затратой энергии) ядер железа $^{56}\text{Fe} = 13\text{ }^4\text{He} + 4n$ у звёзд с $M \approx (12\text{--}90)M_{\odot}$, рождение пар $e^+ + e^-$ в C,O-ядрах звёзд с $M \geq 90M_{\odot}$. В последнем случае в ходе коллапса происходит детонация кислорода, которая приводит к полному разлёту вещества звезды. В результате коллапса достигается плотность $\rho \sim 10^{12}\text{ г/см}^3$, при которой энергетически выгодна нейтронизация вещества. Для вырожденного газа нейтронов $\gamma = 5/3$ и его давление может противостоять тяготению, если $M < 2M_{\odot}$. В этом случае образуется нейтронная звезда. При $M \geq 2M_{\odot}$ коллапс не ограничен и звезда превращается в чёрную дыру. При остановке коллапса у границы нейтронной звезды возникает ударная волна, которая, распространяясь наружу, вызывает сброс оболочки (см. *Сверхновая*).

Многие процессы, сопровождающие термоядерные взрывы в ядрах и гравитационный коллапс, ещё не до конца ясны и требуют дальнейшего изучения. Это — кинетика ядерных реакций и догорание остатков ядерного топлива, которое в принципе может остановить коллапс, перенос энергии, нейтринные процессы, роль магнитных процессов и вращения, механизмы передачи энергии от ядра к оболочке. Тем не менее можно утверждать, что явления, сопровождающие взрывное горение ^{12}C и гравитационный коллапс массивных звёзд, при которых выделяется энергия $\sim 10^{44}$ Дж в виде излучения и кинетич. энергии сброшенной оболочки и $\sim (10^{46}\text{--}10^{47})$ Дж в виде нейтрино и антинейтрино, удовлетворительно объясняют наблюдаемые вспышки сверхновых II типа. Продукты взрыва — молодые нейтронные звезды, излучающие за счёт кинетической энергии вращения, в течение первых $10^5\text{--}10^6$ лет своего существования наблюдаются как пульсары. Статистические оценки численности пульсаров указывают на то, что в них превращаются все звёзды с $M \geq (6\text{--}10)M_{\odot}$, это грубо согласуется с пред-

сказаниями теории и с наблюдаемым числом сверхновых звёзд.

Причина вспышек сверхновых I типа, которые происходят в звёздных системах, где в настоящее время заканчивают эволюцию старые объекты с $M \approx M_{\odot}$, всё ещё до конца не ясна. При взрывах сверхновых происходит синтез тяжёлых элементов, которые затем выбрасываются в межзвёздное пространство вместе с элементами, синтезированными в ходе предшествующей эволюции. Это определяет важнейшее космологическое значение сверхновых звёзд.

В ходе эволюции в оболочке звезды могут возникнуть условия, при которых зона частичной двукратной ионизации гелия способна при сжатии звезды поглощать энергию (она идёт на ионизацию), а при расширении — высвобождать ее, поддерживая пульсации. Границы области, в которой действует этот механизм, определяют на ГР-диаграмме полосу неустойчивости, в которую попадают многие типы пульсирующих звезд: цефеиды, звёзды типа δ Щита, RR Лиры и др. Аналогичным образом зона неполной ионизации водорода может, вероятно, поддерживать неустойчивость долгопериодических переменных типа Миры Кита.

Современная теория эволюции звёзд способна объяснить общий ход развития звёзд и находится в удовлетворительном качественном и количественном согласии с данными наблюдений. В дальнейшем теория должна точнее учесть влияние вращения и магнитного поля, роль которых может быть особенно важной в процессе формирования звёзд и на быстрых стадиях эволюции, таких, например, как взрывы сверхновых звёзд. Особую проблему представляет эволюция звёзд в тесных двойных системах, где на эволюцию влияет обмен веществом между компонентами.

ЭДДИНГТОНОВСКИЙ ПРЕДЕЛ СВЕТИМОСТИ (L_{Edd}), или «критическая светимость» — значение светимости космического объекта, при которой давление его излучения на окружающее вещество (плазму) равно его гравитационному притяжению. Впервые это понятие ввёл английский астроном Артур Эддингтон. По наблю-

даемой светимости космического объекта можно оценить нижний предел его массы: если бы масса была ниже этого предела, то окружающее вещество не смогло бы долго удерживаться рядом с ним, а было бы отброшено давлением его излучения. Светимость некоторых объектов, например, очень массивных звёзд, а также нейтронных звёзд и чёрных дыр, излучающих за счёт аккреции, близка к критической. Поэтому понятие об эддингтоновском пределе светимости позволяет довольно точно оценивать массы таких объектов. А существование гипотетических сверхзвёзд (т. е. звёзд с массой больше $104 M_{\odot}$, в недрах которых давление излучения намного превышает газовое) вообще возможно лишь при светимости, равной эддингтоновской.

При светимости $L < L_{\text{Edd}}$ сила гравитации превышает силу давления излучения, и становится возможной аккреция вещества на компактный источник излучения. При $L > L_{\text{Edd}}$ доминирует сила давления света, аккреция невозможна, плазма должна оттекать из окрестностей источника излучения.

Величину критической светимости можно найти следующим образом. Рассмотрим разреженную водородную (поскольку водород — самый обильный элемент во Вселенной), полностью ионизованную плазму в окрестности компактного источника, имеющего светимость L и массу M . На каждый электрон, находящийся на расстоянии R от изотропно излучающего источника, действует сила давления света

$$f_e = \sigma_T q / c = \sigma_T L / 4\pi R^2 c,$$

направленная по радиусу от источника. Здесь $q = L / 4\pi R^2$ — поток излучения, $sT = (8\pi/3)r_e^2$ — томсоновское сечение рассеяния, где $r_e = e_0/m_e c^2$ — классический радиус электрона. В то же время на протон действует сила притяжения

$$f_g = GMm_p/R^2,$$

где m_p — масса протона, G — гравитационная постоянная. Силой гравитации, действующей на электрон, можно пренебречь вследствие малости массы электрона ($m_e \approx m_p/1836$), а силой давления света, действующей на протон, пренебрегаем из-за малого сечения рассеяния $s_p = (m_e/m_p)^2 \sigma_T$.

Электроны и протоны связаны электростатической силой, поэтому можно считать, что обе противоположно направленные силы f_g и f_e приложены к паре, состоящей из электрона и протона. Обе силы имеют одинаковую зависимость от расстояния и становятся равными при светимости

$$L_{\text{Edd}} = 4\pi GMm_p c / sT = 10^{31} (M/M_{\odot}) \text{ Вт} = 10^{38} (M/M_{\odot}) \text{ эрг/с.}$$

Если оптическая толща $t \gg 1$, приравнявая градиент давления излучения к силе тяжести, также можно получить приведённое выше значение критической светимости. Заметим, что это классический эддингтоновский предел для изотропного источника излучения, который учитывает только томсоновское рассеяние квантов в водородной плазме. При дополнительном учете поглощения в спектральных линиях говорят о «модифицированном эддингтоновском пределе», который ниже классического.

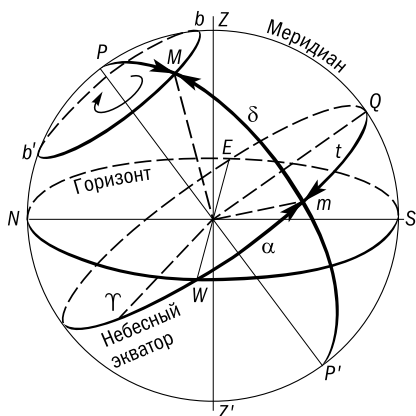
По наблюдаемой светимости объекта L можно следующим образом установить нижнюю границу его массы: предполагая, что $L < L_{\text{Edd}}$, получим, что $M/M_{\odot} > L/(10^{31} \text{ Вт})$. Этим методом оценивают массы объектов в тех случаях, когда нет прямой информации о массе, например, при определении масс квазаров и ядер галактик. Следует отметить, однако, что при отсутствии сферической симметрии возможно превышение светимости аккрецирующих объектов над эддингтоновской. Это имеет место, например, в рентгеновских пульсарах SMC X-1 и LMC X-4.

Приведённую выше «классическую» оценку критической светимости можно уточнить для солнечного химического состава: точный расчёт даёт $L_{\text{Edd}} (\text{сол. хим.}) = 1,5 L_{\text{Edd}} (\text{класс.})$. В реальных задачах необходимо кроме томсоновского рассеяния учитывать вклад фотоионизации, давления излучения в спектральных линиях и т. д. При этом, как уже отмечалось, значение критической светимости снижается. С другой стороны, для высокоэнергичных рентгеновских и γ -фотонов сечение комптоновского рассеяния, согласно формуле Клейна–Нишины, меньше томсоновского, что ведёт к увеличению критической светимости.

Если светимость объекта в значительной степени определяется процессом аккреции на него постороннего вещества, то эддингтоновский предел светимости ограничивает как светимость объекта, так и интенсивность аккреции. Не исключено, что в некоторых случаях возможна «сверхкритическая» светимость. Например, молодые пульсары, излучающие за счёт потери энергии вращения, могут иметь светимость, превышающую эддингтоновский предел.

ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ МОНТИРОВКА — конструкция, позволяющая астрономическому инструменту поворачиваться вокруг двух осей, одна из которых (полярная, или часовая, ось) параллельна оси мира, а другая (ось склонений) перпендикулярна первой.

ЭКВАТОРИАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ — система небесных координат, в которой основной плоскостью служит плоскость небесного экватора, а основным направлением — ось мира. В качестве координат на небесной сфере используются: склонение (или полярное расстояние) и прямое восхождение (или часовой угол). Склонение (δ) — это угловое расстояние светила от небесного экватора; положительное к северу, отрицательное к югу. Полярное расстояние (p) — угловое расстояние светила от северного полюса мира. $p + \delta = 90^\circ$. Часовой угол (t) — это двугранный угол между плоскостями небесного меридиана и круга склонения



Экваториальная система координат: M — светило, m — его проекция на небесный экватор, Υ — точка весеннего равноденствия, bMb' — суточная параллель, α — прямое восхождение, t — часовой угол, δ — склонение.

светила; он возрастает вследствие суточного движения светила. Прямое восхождение (α) — это дуга небесного экватора от точки весеннего равноденствия (Υ) до круга склонения, проходящего через светило; отсчитывается в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы. Первая экваториальная система координат оперирует углами δ и t . Вторая экваториальная система координат оперирует углами δ и α .

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШИРИНА — мера интенсивности спектральной линии поглощения (или излучения). Эквивалентная ширина линии равна ширине прямоугольника, имеющего ту же площадь на регистрирующей (т. е. на графике спектра), что и спектральная линия, и построенного под (или над) уровнем окружающего континуума.

ЭКВИВАЛЕНТНОЕ ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ — характеристика объектива, служащая для его сравнения с объективом некоторой стандартной камеры. Численно оно равно фокусному расстоянию объектива стандартной камеры, имеющей на фотоприёмнике такое же поле зрения, как исследуемый объектив на приёмнике его камеры. Стандартным сейчас считается кадр размером 24×36 мм (узкая фотоплёнка, использовавшаяся в XX в.). Приёмники (ПЗС-матрицы) недорогих электронных цифровых камер имеют значительно меньший размер, поэтому для получения такого же угла поля зрения, как у старых плёночных камер, их объективы делают более короткофокусными. Но чтобы покупатель смог оценить поле зрения такого объектива, вместо физического фокусного расстояния (или вместе с ним) указывается его эквивалентное фокусное расстояние.

ЭКЗОБИОЛОГИЯ — см. *Астробиология*.

ЭКЗОПЛАНЕТА, или **внесолнечная планета**, — планета, принадлежащая иной, не Солнечной, планетной системе (англ. *extrasolar planet* или *exoplanet*). Возможно также существование свободных планет, не связанных с конкретной звездой.

Практические поиски экзопланет начались в середине XX в. методами оптической астрономии. С 1938 по 1990 г. поиски велись только с помощью астрометрических измерений: предпринимались попытки зареги-

стрировать периодические смещения звёзд в картинной плоскости (т. е. в плоскости неба, перпендикулярной лучу зрения наблюдателя) под влиянием обращающихся вокруг них планет. Хотя даже для ближайших звёзд эти колебания, как правило, не превосходят $0,01''$, что ниже практической точности астрометрических измерений, была надежда выделить их на фоне ошибок, учитывая периодический характер смещения звезды, связанный с орбитальным движением планеты. В течение нескольких десятилетий астрометрический метод не принёс надежных результатов, хотя начиная с 1942 г. несколько раз публиковались сообщения об открытии экзопланет, но каждый раз они не подтверждались.

Первая система из трёх экзопланет была открыта в 1992 г. вокруг нейтронной звезды-радиопульсара PSR B1257+12. Открытие совершили радиоастрономы Александр Вольщан и Дэйл Фрейл, заметив периодическое изменение частоты прихода импульсов от пульсара. Поиск планет у многих сотен других пульсаров пока дал весьма скромный результат: ещё у одного пульсара обнаружилась одна планета. Хотя планеты у пульсара PSR B1257+12 по своим массам похожи на Землю, их происхождение представляется «вторичным». Известно, что рождению нейтронной звезды предшествует взрыв сверхновой, вызывающий большую потерю массы (в виде сброшенной оболочки звезды). Поэтому исходная планетная система не смогла бы сохраниться: имея большие орбитальные скорости, планеты улетели бы от легкой нейтронной звезды. Но если взорвавшаяся звезда входила в двойную систему с более массивным (к моменту взрыва) компонентом, то из вещества второй звезды, перетекавшего на пульсар уже после взрыва, возможно, могли бы образоваться планетообразные тела.

«Настоящая» экзопланета была впервые надёжно обнаружена в 1995 г. Это сделали астрономы Женевской обсерватории (Швейцария) Мишель Майор и Дидье Кёло, построившие спектрометр, способный измерять доплеровское смещение линий с точностью до 13 м/с. В 1994 г. они начали регулярные измерения лучевых ско-

ростей 142 солнцеподобных звёзд из близкого окружения Солнца и довольно быстро обнаружили «покачивания» звезды 51 Пегаса (51 Peg) с периодом 4,23 сут, вызванные влиянием на неё планеты по массе близкой к Юпитеру. В эти годы подобными поисками занимались уже несколько групп астрономов, но первая удача, отчасти случайно, пришла к группе Майора. В дальнейшем эта группа оставалась в числе лидеров по количеству открытых экзопланет, но на первое место вышла американская группа под руководством Джеффри Марси.

К концу XX в. было обнаружено около 20 планетных систем у близких звёзд. Затем рост числа открытий ускорился. К началу 2008 г. в 230 системах было замечено присутствие более чем 270 планет. К 2012 г. было обнаружено уже более 760 планет. Большинство из них было открыто доплеровским методом — по периодическому изменению лучевой скорости звезды, но вскоре лидером стал фотометрический метод прохождений, или транзитов, позволяющий заметить планету по эффекту «микроразмещения» собственной звезды. К сентябрю 2023 г. известно около 5510 экзопланет.

Сначала обнаруживались только массивные и близкие к звезде планеты-гиганты, но год от года снижается нижняя граница массы и возрастает предельное расстояние. К 2020 г. массы замеченных экзопланет лежат в интервале от 5% массы Луны до десятков масс Юпитера, а большие полуоси орбит — от $0,0026$ до 7000 а. е.; эксцентриситеты орбит, как правило, довольно большие. Отметим, что из физических соображений граница между планетами и коричневыми карликами проходит по значению около 13 масс Юпитера, но в каталог экзопланет вносят объекты «с запасом» массы, поскольку старые коричневые карлики незначительно отличаются от планет-гигантов.

Несколько экзопланет открыто иными методами: 1) путём прямой регистрации изображения крупной планеты (возможно, некоторые из них — коричневые карлики) на угловом расстоянии $0,7''$ – $6''$ от звезды. В линейной мере это соответствует десяткам и сотням астрономических единиц; 2) по эффекту гравитационного микролин-

зирования, увеличивающего яркость далёкой звезды фона при прохождении перед ней планеты.

Метод прохождений доказал свою высокую эффективность после запуска космических обсерваторий, с борта которых ведутся очень точные фотометрические наблюдения за звёздами. Менее точные, но более обширные наблюдения ведутся и с поверхности Земли. Все современные фотометрические инструменты имеют широкое поле зрения. Измеряя одновременно блеск миллионов звёзд, астрономы существенно увеличивают свой шанс обнаружить прохождение планеты по диску звезды. При этом, как правило, обнаруживаются планеты, часто демонстрирующие затмение звезды, т. е. имеющие короткий орбитальный период, а значит, компактную орбиту.

Доплеровский метод непрерывно совершенствуется. Точность регистрации лучевой скорости звезды достигла сейчас 1 м/с, что близко к теоретическому пределу, в основном связанному с нестабильностью звёздных атмосфер. Это не позволяет обнаруживать аналоги Земли вблизи аналогов Солнца, для чего нужна была бы точность порядка нескольких сантиметров в секунду. Однако это уже даёт возможность регистрировать присутствие планет в несколько раз массивнее Земли (так называемые «сверхземли», *super-Earth*) вблизи звёзд в несколько раз менее массивных, чем Солнце. И такие планеты действительно обнаружены, причём некоторые из них находятся в тех областях своих планетных систем, где по температурным условиям на поверхности планеты возможно наличие жидкой воды (так называемые «зоны жизни»).

ЭКЗОСФЕРА — внешняя область атмосферы Земли и планет, в которой средняя длина свободного пробега частиц (т. е. атомов) настолько велика, что те из них, которые обладают скоростью, большей скорости убегания (т. е. второй космической скорости), могут покинуть атмосферу. Быстро движущиеся атомы есть и в нижних частях атмосферы, но они не могут продвинуться далеко и быстро теряют скорость в результате частых столкновений с другими, медленными,

атомами, которых всегда больше. Но для атомов экзосферы, случайно приобретших большую скорость, достаточно высока вероятность покинуть атмосферу без столкновений с другими атомами.

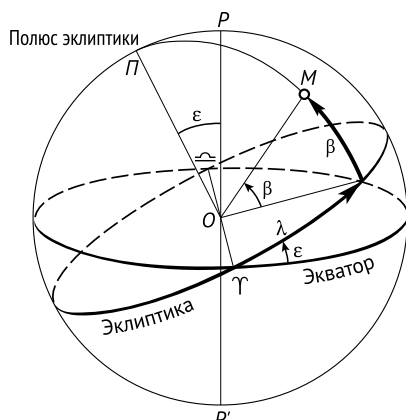
Экзосфера Земли начинается на высоте 550 км. На этом уровне часть наиболее лёгких атомов (водорода и в меньшем количестве гелия) имеет тепловую скорость $v_T = \sqrt{2kT/m}$, сравнимую с параболической $v_\infty = \sqrt{2GM/r}$ (M — масса планеты, r — расстояние от её центра), что приводит к постоянной потере атмосферой атомов водорода (диссипации атмосферы). Потеря водорода в экзосфере компенсируется его диффузией из нижних слоёв атмосферы, где водород образуется в результате диссоциации водяного пара.

Внешнюю часть экзосферы, состоящую из неcollидирующих водородных атомов, иногда называют водородной короной, а для Земли часто используется термин «геокорона». Геокорона и водородные короны других планет исследуют главным образом путём наблюдения интенсивности резонансно рассеянного солнечного излучения в линии $\text{Ly}\alpha$ ($\lambda = 1215,7 \text{ \AA}$). Геокорона населена атомами водорода с двумя типами траекторий: эллиптическими и гиперболическими. Часть атомов с гиперболическими траекториями навсегда теряются атмосферой. Для земной экзосферы поток диссипирующих атомов составляет 10^8 атомов/(см²с), или ~2 кг/с для всей Земли. Ионизация атомов водорода не сказывается заметно на диссипации атмосферы, так как среднее время, необходимое для ионизации атома водорода на орбите Земли, равно $2,5 \cdot 10^6$ с, а время убегания примерно в 100 раз меньше. После ионизации атомов образовавшиеся ионы начинают взаимодействовать с магнитным полем Земли, которое и определяет их дальнейшее движение в магнитосфере. С космических аппаратов экзосфера Земли прослеживается вплоть до 100 тыс. км. Экзосферы наблюдаются также у Венеры и Марса. По-видимому, у Луны и Меркурия экзосферы начинаются непосредственно у самой поверхности этих тел.

ЭКЛИПТИКА — линия пересечения плоскости орбиты Земли с небесной сферой. Гео-

метрически это большой круг на небесной сфере, лежащий в плоскости земной орбиты. Визуально это видимый путь Солнца на фоне звёзд в течение тропического года. Плоскость эклиптики — это плоскость орбиты Земли в её движении вокруг Солнца. Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора на угол около $23,4^\circ$. Вдоль эклиптики расположены созвездия зодиака. Плоскость эклиптики служит основной плоскостью эклиптической системы координат (см. *Долгота эклиптическая*, *Широта эклиптическая*).

ЭКЛИПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ — сферическая система небесных координат, для которой основной плоскостью служит плоскость эклиптики. В качестве координат на небесной сфере используются: эклиптическая широта (b) и эклиптическая долгота (l). Начальный меридиан проходит через точку весеннего равноденствия. Эклиптическая долгота отсчитывается от 0° до 360° в направлении противоположном суточному движению светил. Эклиптическая широта отсчитывается от 0° до $\pm 90^\circ$ соответственно к северу и югу от эклиптики.



Эклиптическая система координат: b — эклиптическая широта, l — эклиптическая долгота

ЭКСПОЗИЦИЯ — интервал времени, в течение которого изображение попадает на детектор, в частности, на фотографическую эмульсию или ПЗС-матрицу. При получении изображений астрономических объектов продолжительность экспозиции может составлять от долей секунды до многих часов.

ЭКСЦЕНТРИСИТЕТ ОРБИТЫ — параметр,

характеризующий форму орбиты, если её можно представить одним из конических сечений (окружность, эллипс, парабола, гипербола). Обычно эксцентриситет обозначается латинской буквой e , иногда e . Значение эксцентриситета для эллипса выражается через отношение длин большой (a) и малой (b) полуосей: $e^2 = 1 - b^2/a^2$. Также для эллипса и гиперболы эксцентриситет равен отношению расстояния между фокусами к большей или вещественной оси. У эллипса $0 < e < 1$. У гиперболы $e > 1$. Округлость — это частный случай эллипса ($e = 0$). Парабола ($e = 1$) — это пограничный случай между эллипсом и гиперболой.

Точную форму конических сечений имеют орбиты двух уединённых гравитационно взаимодействующих точечных масс, да и то лишь в рамках ньютоновской физики. В природе хорошим приближением для этого идеального случая считается движение двух достаточно удалённых друг от друга звёзд (или звезды и планеты) при отсутствии рядом с ними иных тел. Но и для орбит тел в Солнечной системе конические сечения служат неплохим первым приближением. Эксцентриситеты орбит больших планет невелики: наибольший эксцентриситет орбиты у Меркурия (0,206); далее следует Марс (0,093). Эксцентриситет орбиты Земли составляет 0,017. Ближе всех к округлости орбита Венеры ($e = 0,007$). Орбиты карликовых планет (Плутон и др.) и астероидов имеют гораздо более широкий диапазон эксцентриситетов, не превышающих 1. У некоторых комет эксцентриситет орбиты близок к 1, поэтому форма орбиты близка к параболической, незамкнутой. В действительности, вдали от Солнца и больших планет орбиты этих комет эллиптические, но внутри планетной системы их форма становится параболической и даже гиперболической с $e \approx 1$. Это хороший пример того, что в реальных космических системах не всегда возможно характеризовать форму орбиты тела одним значением эксцентриситета.

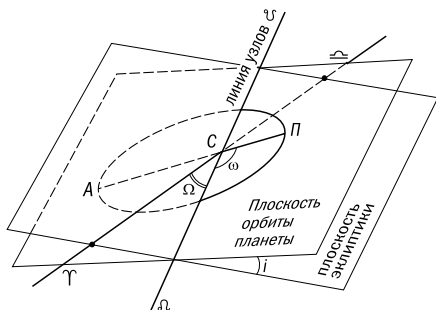
ЭЛЕКТРОНВОЛЬТ (эВ) — внесистемная единица энергии. Кинетическую энергию в 1 эВ приобретает частица с элементарным зарядом в 1 элементарный заряд (как

у электрона или протона), прошедшая через промежуток с разностью потенциалов в 1 вольт. Соотношения: $1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,602 \cdot 10^{-12} \text{ эрг}$. Полная энергия (mc^2) массы в 1 г составляет $8,9875 \cdot 10^{13} \text{ Дж} = 5,6102 \cdot 10^{32} \text{ эВ}$.

Производные единицы: мегаэлектронвольт, $1 \text{ МэВ} = 106 \text{ эВ}$; гигаэлектронвольт, $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$. Энергия оптического фотона с длиной волны 550 нм (жёлто-зелёный цвет) составляет 3 эВ. Энергия фотонов видимого света лежит в диапазоне от 1,8 эВ (красная область спектра) до 3,5 эВ (фиолетовая область спектра). Энергия ионизации атома водорода 13,6 эВ, а других атомов от 3,9 эВ у цезия до 24,6 эВ у гелия.

ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТЫ – параметры, описывающие форму траектории тела и его положение на ней в системе гравитирующих тел. В системе двух точечных масс, в рамках ньютоновой механики, элементы орбиты постоянны, а сама траектория «кеплерова» – эллипс, парабола или гипербола. В системе большего числа тел иногда можно говорить об оскулирующих, т. е. медленно меняющихся, элементах орбиты, также представляя её как кеплерову. Это возможно, если одно из тел существенно доминирует по массе (как в Солнечной системе) или распределение массы близко к гладкому и симметричному (как в галактике). Для полного описания эллиптической орбиты тела в Солнечной системе требуется семь параметров:

- большая полуось орбиты (a);
- эксцентриситет орбиты (e);
- наклон плоскости орбиты к плоскости эклиптики (i);
- период обращения (P);



Элементы орбиты. А – афелий, П – перигелий, Ω – восходящий узел, ω – нисходящий узел

- момент прохождения перигелия, или эпоха (T);

Долгота восходящего узла орбиты (Ω) – угол, измеряемый против часовой стрелки (при наблюдении из Северного полушария) вдоль эклиптики от точки весеннего равноденствия до восходящего узла орбиты;

Долгота перигелия (ω) – сумма аргумента перигелия (ω – угол от восходящего узла орбиты до точки перигелия, измеряемый в плоскости орбиты против часовой стрелки) и долготы восходящего узла: $\varpi = \Omega + \omega$. Таким образом, ϖ измеряется от точки весеннего равноденствия до точки перигелия последовательно в двух плоскостях.

Орбиты околоземных тел, спутников планет и двойных звёзд определяются такими же элементами, но опорная плоскость и название точки наибольшего сближения (в Солнечной системе это эклиптика и перигелий) у них другие.

ЭЛЛИПС – замкнутая кривая второго порядка, одно из конических сечений (наряду с гиперболой и параболой). Описывает форму замкнутых орбит двух точечных масс, движущихся под действием взаимного притяжения обратно пропорционального квадрату расстояния между ними (т. е. по закону всемирного тяготения Ньютона). Так же описывает форму орбиты частицы, движущейся под действием силы, пропорциональной расстоянию от начала координат (т. е. по закону Гука). В декартовой системе координат эллипс описывается уравнением

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 = 1,$$

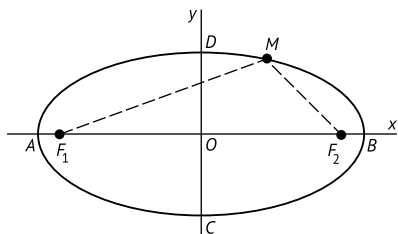
где a и b – большая и малая полуоси эллипса. В полярных координатах (ρ , ϕ) с полюсом в центре эллипса и полярной осью вдоль большой оси эллипса его уравнение

$$\rho = \frac{b}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \phi}},$$

где эксцентриситет ($0 \leq e < 1$), выражающий степень «сплюснутости» эллипса, равен

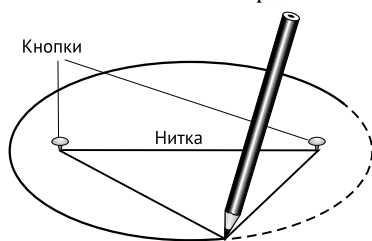
$$e = \frac{c}{a} = 1 - \sqrt{\frac{b^2}{a^2}}.$$

Здесь c – расстояние двух особых точек (фокусов, F_1 и F_2) эллипса от его центра. Фо-



Эллипс. O — центр, F_1 и F_2 — фокусы, AB — большая ось, CD — малая ось, $OA = OB = a$ — большая полуось, $OC = OD = b$ — малая полуось. $OF_1 = OF_2 = c$ — фокальное расстояние

кусы лежат на большой оси и обладают тем свойством, что сумма расстояний любой точки эллипса до его фокусов постоянна и больше расстояния между фокусами. На этом его свойстве основан способ рисования эллипса с помощью двух кнопок, обозначающих фокусы, и кольца из нитки, которое в натянутом состоянии позволяет карандашу сохранять сумму расстояний до фокусов. Оптическое свойство эллипса: лучи света, испущенные из одного фокуса, отразившись от эллипса, собираются во втором фокусе. Гравитационное свойство эллипса: при движении по закону Гука ($F \sim r$) центр тяготения лежит в центре эллипса, а по закону Ньютона ($F \sim 1/r^2$) центр масс системы лежит в одном из фокусов эллипса или совпадает с одним из тел, если принять его за начало системы координат.



Рисование эллипса

ЭЛЛИПСОИДАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ — тесные двойные системы, в которых звезды настолько близки друг к другу (но не соприкасаются), что одна или обе под влиянием приливного эффекта вытянуты в эллипсоиды. Так как компоненты системы обращаются вокруг общего центра масс, они поворачиваются к наблюдателю разными сторонами и поэтому видимый размер излучающей области постоянно меняется, что

приводит к изменению видимого блеска системы. Наблюдаемые изменения блеска не велики и обычно составляют менее $0,2^m$, так как это предел вытянутости звезды до начала её разрушения. Но если звезды затмевают друг друга, то изменения блеска становятся более значимыми. Именно такая ситуация наблюдается у двойных звёзд типа β Лиры (β Lyr).

ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ ГАЛАКТИКА — галактика, лишённая диска и имеющая форму, близкую к эллипсоиду. К этому типу относятся как самые массивные (до $10^{12} M_\odot$), так и самые маломассивные (10^7 – $10^8 M_\odot$) галактики. Эллиптические галактики содержат очень мало межзвёздного вещества и молодых звёзд, а порой не содержат их вовсе.

ЭЛОНГАЦИЯ (позднелат. *elongatio* удаление) — геоцентрический угол между планетой и Солнцем или между планетой и её спутником.

ЭМИССИОННАЯ ЛИНИЯ, или **линия излучения** — яркая линия в спектре объекта. Возникает при избыточном излучении фотонов с данной длиной волны ионами, атомами или молекулами по сравнению с их излучением в соседних областях спектра. См. также *Линия излучения*.

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ — разность между энергией связанного состояния некоторой системы частиц (тел) и энергией такого состояния, когда эти частицы (тела) бесконечно удалены друг от друга и покоятся. Энергия связи равна той работе, которую нужно затратить, чтобы разделить систему на составляющие её частицы. Так как образование связанного состояния сопровождается выделением энергии, то энергия связи — отрицательная величина. Чем больше энергия связи по абсолютной величине, тем прочнее связь. Так, например, энергия связи атома водорода равна 13,6 эВ, энергия связи нейтрона и протона, образующих ядро дейтерия, равна 2,2 МэВ, а энергия связи протонов и нейтронов в стабильных ядрах составляет в среднем около 10 МэВ на каждый нуклон. Таким образом, связь частиц в ядре, обусловленная действием ядерных сил, намного сильнее взаимодействия электронов с ядрами и между собой. Ещё меньше химическая энергия связи. Так, в молекуле H_2

энергия связи двух атомов водорода равна 4,7 эВ, а в молекуле азота энергия связи двух атомов азота равна 10 эВ.

Используя соотношение $E = mc^2$, можно говорить о гравитационной энергии связи. Например, в нейтронной звезде энергия покоя нейтронов на 0,08% больше, чем соответствующего количества протонов и электронов, или на 0,9% больше, чем для равного числа нуклонов, соединённых в ядре железа, но гравитационное взаимодействие уменьшает энергию на 10–20%, и в результате масса нейтронной звезды составляет 80–90% массы равного числа нуклонов, соединённых в ядре железа.

В принципе гравитационный дефект массы может быть сколь угодно близок к начальной массе данного числа частиц с данным числом нуклонов и данной энтропией. Такое состояние осуществляется внутри чёрной дыры или замкнутого мира. Прямой переход из этого состояния с выделением энергии связи, равной суммарной массе составляющих частиц, реализуется при испарении чёрных дыр, впервые обсуждавшемся в 1975 г. английским физиком С. Хокингом.

ЭНЦЕЛАД (SII, Enceladus) — естественный спутник Сатурна. Вильям Гершель открыл его 28 августа 1789 г. с помощью своего 40-футового телескопа. Большая полуось орбиты Энцелада 237,95 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 1,370218 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0047. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,019°. Размеры 513,2 × 502,8 × 496,6 км. Масса $1,08 \cdot 10^{20}$ кг. Средняя плотность 1,61 г/см³. Ускорение свободного падения у поверхности 11,4 см/с². Вторая космическая скорость у поверхности 239 м/с. Суточное вращение синхронизовано с орбитальным. Геометрическое альbedo 1,38. Альbedo Бонда 0,81. Видимый блеск 11,7^m и максимальное угловое расстояние от планеты 38" для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Средняя температура поверхности около 75 К. Диапазон температуры: от 33 К до 145 К.

Поверхность спутника покрыта ледяным панцирем. В северном полушарии поверх-

ность льда сильно кратерирована, её геологический возраст ~ 100 тыс. лет. Но южное полушарие почти свободно от кратеров. Из четырёх крупных разломов в районе южного полюса бьют гигантские водяные фонтаны (криовулканы). Это указывает на существование подлёдного моря. Выброшенная вода, замерзая, частично падает на поверхность Энцелада, а частично рассеивается вдоль его орбиты. Энцелад движется в наиболее плотной части одного из внешних колец Сатурна (кольцо E), образованного именно этим, выброшенным самим Энцеладом, веществом. Источником внутреннего тепла спутника в основном служат приливные деформации.

ЭПИЦИКЛ — в геоцентрической системе мира Птолемея это небольшая вспомогательная окружность, по которой движется планета, а центр самого эпицикла в это время движется по окружности большего размера — деференту (см. *Деферент*). В простейшем случае видимое движение планеты на небе представляется её равномерным вращением по эпициклу, центр которого равномерно вращается по деференту. Эпициклы введены для объяснения попятного движения планет.

ЭПОХА — определённый момент времени, используемый астрономами для указания значений разнообразных переменных величин, что делает возможным их сравнение друг с другом (координаты звёзд, ориентация планетных орбит, периоды пульсаров и т. п.). Эпохой каталога называют дату, к которой приведены (пересчитаны) координаты звёзд, наблюдавшихся в разное время. Обычно эпоха каталога близка к середине того периода, в течение которого проводились наблюдения. Эпохой равноденствия называют дату, для которой было зафиксировано положение точки весеннего равноденствия, служащей «опорой» экваториальной и эклиптической систем координат.

Сейчас в астрономии широко используется стандартная эпоха равноденствия J2000,0. Она приходится на полдень 1 января 2000 г. (1,5 января 2000 = JD 2451545,0). Буква J обозначает юлианскую стандартную эпоху. Следующие одна за другой стандартные юлианские эпохи отличаются

ся обычно на полное юлианское столетие, составляющее 36525 суток (например, $J1900,0 = 2415020,0$). Во второй половине XX в. обычно использовалась стандартная эпоха B1950,0 — начало бесселева 1950 года. $B1950,0 = JD\ 2433282,423$ = январь 0,923d, 1950 г.

ЭРА — крупный исторический период, объединенный каким-то общим признаком, либо начальный момент системы летосчисления. Например, христианский мир ведет отсчёт времени от Рождества Христова, положившего начало новой (христианской или нашей) эре. Для исламских сообществ главным событием служит бегство пророка Мухаммеда из Мекки в Медину 15 июня 622 г. Для иудеев — сотворение Господом мира 6 октября 3761 г. до н. э. Однако, согласно православной христианской версии, это событие произошло раньше — в 5508 г. до н. э.; от этой точки вело счёт времени Российское государство до 1700 г. Древние римляне почитали основание своего Вечного города (753 г. до н. э.) и отсчитывали от него все годы в своих хрониках. В конце XVI в. для удобства астрономических и хронологических расчётов была введена Юлианская эра с началом в 4713 г. до н. э. (см. *Юлианская дата*).

Некоторые эры имеют важное историческое значение.

Эра Набонассара. Введена одной из первых и названа в честь вавилонского царя Набонассара. Она представляет особый интерес для астрономов, поскольку использовалась для указания дат Гиппархом и александрийским астрономом Птолемеем в его «Альмагесте». Более того, детальные астрономические исследования начались в эту эру, видимо, и в Вавилоне. Началом эры считают 26 февраля 747 г. до н. э. (по юлианскому календарю), первый год правления Набонассара. Птолемей начинает счёт суток со средней Луны на меридиане Александрии, а год у него египетский, содержащий 365 суток: 12 месяцев по 30 суток и ещё 5 добавочных суток. Неизвестно, пользовались ли в Вавилоне этой эрой в эпоху её формального начала, но в более поздние времена ею, по-видимому, пользовались. Помня о «египетской» длине года, легко вычислить, что,

например, 2000 год по григорианскому календарю был 2749 годом эры Набонассара.

Еврейская эра. Начало еврейской эры — это мифическая дата сотворения мира, 3761 г. до н. э. Гражданский год начинается около дня осеннего равноденствия. Например, 11 сентября 1999 г. по григорианскому календарю был первым днём 5760 г. по еврейскому календарю.

Олимпийская эра. Олимпиады — это 4-летние интервалы между греческими спортивными состязаниями, проводившимися в Олимпии; их использовали в хронологии Древней Греции. Олимпийские игры устраивали в дни первого полнолуния после летнего солнцестояния, в месяце гекатомеоне, что соответствует современному июлю. Первые Олимпийские игры были проведены 17 июля 776 г. до н. э. В это время использовался лунный календарь с добавочными месяцами цикла Метона. В IV веке христианской эры император Феодосий отменил Олимпийские игры, и в 392 г. олимпиады были заменены на Римские индикты. Термин «Олимпийская эра» часто встречается в хронологии.

Римские индикты — цикл, введенный первым византийским императором Константином; им пользовались для ведения коммерческих дел и сбора податей. Непрерывную последовательность лет делили на 15-летние интервалы — индикты. Цикл начинался 1 января 313 г. н. э. Следовательно, 1 г. н. э. был четвертым годом индикции. Правило определения номера года в текущем индикте такое: прибавить 3 к григорианскому номеру года и разделить это число на 15, остаток и является искомым числом. Так, в системе римских индиктов 2000 год имеет номер 8.

Римская эра. Годы этой эры отсчитывались от момента основания Рима, которым считается 753 г. до н. э. Перед номером года ставили аббревиатуру A. U. C. (*anno urbis conditae* — год основания города). Например, 2000 год григорианского календаря соответствует 2753 году римской эры.

Христианская эра началась 1 января 1 г. н. э. Считают, что христианскую эру ввел Дионисий Малый в 532 г.; время течет в ней в согласии с циклом Дионисия (см. *Цикл ка-*

лендарный). Дионисий принял за начало 1-го года «нашей» (или «новой») эры 25 марта, поэтому день 25 декабря 1 г. н. э. (т. е. 9 месяцев спустя) был назван днём рождения Христа. Папа Григорий XIII перенёс начало года на 1 января. Историки и хронологи давно уже считали днём Рождества 25 декабря 1 г. до н. э. По поводу этой даты было много споров, и только современные исследования показали, что Рождество, скорее всего, приходится на 25 декабря 4 г. до н. э. Заметную путаницу в установление подобных дат вносит то, что астрономы часто называют год рождения Христа нулевым годом (0 г. н. э.), которому предшествовал 1 г. до н. э. Но другие астрономы, а также историки и хронологи считают, что нулевого года не было и сразу за 1-м годом до н. э. следует 1-й год н. э.

Продолжается также спор о том, считать ли такие годы, как 1800 и 1900, концом столетия или началом следующего столетия. Если принять существование нулевого года, то 1900 г. будет началом столетия, а 2000 г. — ещё и началом нового тысячелетия. Но если нулевой год отсутствовал, что XX век истёк лишь в конце 2000 г.

Мусульманская эра, или эра хиджры, начинается 16 июля 622 г., т. е. с даты переселения Мухаммеда из Мекки в Медину. Например, 6 апреля 2000 г. по григорианскому календарю начался 1421 год мусульманского календаря.

ЭРГ — единица измерения энергии в системе СГС: $1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$.

ЭРГОСФЕРА — область пространства, окружающая кротовскую (т. е. вращающуюся) чёрную дыру и расположенная между пределом статичности снаружи и горизонтом событий внутри. Для объекта, находящегося в эргосфере, состояние покоя невозможно.

ЭРИДАН — экваториальное созвездие. Эту «небесную реку» разные народы отождествляли с Евфратом, Нилом и По. На небе она начинается звездой Курса (β Eri), что лежит чуть западнее Ригеля в Орионе, и «течёт» на запад, а затем на юг и юго-запад к голубому гиганту Ахернар (α Eri), что по-арабски как раз и означает «конец реки». Видимая звёздная величина 0,5 делает Ахернар де-

вятой среди ярчайших звёзд. Удалённая от нас на 10,5 св. года, ϵ Eri — ближайшая одиночная звезда солнечного типа, и её возраст всего около 1 млрд лет. Однако в 1960-е гг. именно ϵ Эридана и τ Кита считались наиболее привлекательными для поиска рядом с ними внеземных цивилизаций. И эти надежды уже начинают оправдываться: недавно астрономы обнаружили, что вокруг ϵ Eri с периодом около 7 лет обращается планета-гигант массой около 0,8 массы Юпитера. Вполне вероятно, что со временем в этой системе обнаружат и планеты земного типа. Замечательная тройная система α^2 Eri состоит из оранжевого карлика 4^m , красного карлика 11^m и белого карлика 9^m , единственного из белых карликов, который можно увидеть в маленький телескоп. Среди далёких объектов примечателен самый совершенный образец пересеченной спирали — галактика NGC 1300.

ЭРОС — астероид 433 Eros, один из крупнейших и легко наблюдаемых астероидов из группы тел, сближающихся с Землёй. Немецкий астроном Карл Густав Витт (K. G. Witt, 1866–1946) открыл его 13 августа 1898 г. на народной обсерватории «Урания» (Германия). Независимо от него это открытие сделал французский астроном А. Шарлуа (August H. P. Charlois). Оказалось, что Эрос в перигелии своей орбиты почти касается орбиты Земли, тогда как все 432 открытых до него астероида движутся значительно дальше от нашей планеты. Именно эта особенность Эроса стала причиной особого внимания к нему астрономов: в первые десятилетия XX в. наблюдения за движением Эроса позволили существенно уточнить расстояние Земли от Солнца (астрономическая единица, а. е.), а в конце XX в. Эрос стал первым астероидом, на орбиту вокруг которого вышел межпланетный зонд.

Эрос имеет неправильную, «туфлеобразную» форму; его размеры $40 \times 14 \times 14$ км. Его объём составляет около половины суммарного объёма всех астероидов, сближающихся с Землёй, которых открыто уже более тысячи. Эрос вращается вокруг собственной оси с периодом 5 час 16 мин. Его орбита имеет перигелий 1,13 а. е. и афелий 1,78 а. е. Сила тяжести на поверхности Эроса очень

мала: космонавт в скафандре весил бы около 100 г. Человек там может подпрыгнуть на несколько сотен метров, а камень, брошенный со скоростью 10 м/с, навсегда покинет астероид. Днём температура на его поверхности составляет около 100 °С, а ночью опускается до –150 °С.

По составу Эрос относится к астероидам типа S, наиболее типичным для внутренней области Главного пояса астероидов, расположенного между Марсом и Юпитером. Классификация астероидов основана на спектральных свойствах отраженного ими солнечного света. У астероидов типа S довольно высокое альbedo (коэффициент отражения) и красноватый цвет. Оптические спектры указывают, что их поверхность состоит из смеси оливинов и пироксенов (комплексы железа, магния и силикатов) с примесью чистых металлов — никеля и железа. Сравнивая спектры Эроса и упавших на Землю метеоритов, учёные выяснили, что по составу Эрос отчасти напоминает железо-каменные метеориты, но ещё больше — хондриты, имеющие самый примитивный состав, не изменившийся за время жизни Солнечной системы (4,6 млрд лет). Поэтому именно его первым избрали для подробного изучения с близкого расстояния.

Зонд NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous — «Встреча с близким к Земле астероидом») был запущен NASA (США) 17 февраля 1996 г.; 23 декабря 1998 г. он пролетел вблизи астероида Эрос, а 14 февраля 2000 г. вновь сблизился с ним и стал его искусственным спутником. Несколько месяцев аппарат исследовал астероид с высоты около 200 км, а в начале декабря 2000 г. перешёл на орбиту высотой 35 км, с которой возможно изучать химический состав поверхности при помощи рентгеновских и γ -спектрометров. 14 марта 2000 г. зонду было присвоено имя в честь известного геолога и планетолога Юджина Шумейкера (Gene Shoemaker), погибшего в 1997 г. в автомобильной аварии. Зонд NEAR-Shoemaker выполнил детальное фотографирование и изучение химического состава поверхности Эроса. Составлена подробная карта астероида; горы, кратеры и долины на ней названы именами романтических персонажей из истории и литературы

разных народов: от Дон Кихота до Дон Жуана. В заключение миссии, 12 февраля 2001 г., зонд выполнил незапланированный эксперимент — впервые в истории сел на поверхность астероида. Через час после посадки от аппарата стала поступать информация. Работоспособными оказались два прибора — магнитометр и спектрометр, которые передавали сведения о составе пород и магнитном поле Эроса. 28 февраля 2001 г. состоялся последний сеанс связи.

ЭРУПТИВНЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ ЗВЁЗДЫ — переменные звёзды, у которых наблюдаются внезапные сильные изменения блеска, обусловленные активностью их хромосферы или короны. Колебания блеска могут сопровождаться усилением звёздного ветра или выбросом оболочки. К эруптивным звёздам относятся звёзды типа RY Dra, FU Ori, γ Cas, иррегулярные переменные, небулярные переменные, звёзды типа Вольфа—Райе, а также переменные звёзды типов R CrB, RS CVn, S Dor, T Tau и UV Cet. Не следует путать эруптивные переменные звёзды с катаклизмическими переменными.

ЭТАЛОН ФАБРИ—ПЕРО — оптический прибор для получения спектров с высоким разрешением. Состоит из двух плоских стеклянных пластин, параллельных друг другу и разделенных небольшим воздушным промежутком. Поверхности пластин покрыты полупрозрачным отражающим слоем. Интерференция при многочисленных отражениях между зеркалами эталона даёт множество перекрывающихся сегментов спектров высокого порядка. Для выделения отдельных сегментов применяется кросс-дисперсер (призма с невысокой дисперсией, направление которой перпендикулярно направлению дисперсии эталона). Центральную длину волны, соответствующую максимуму пропускания, и ширину полосы пропускания эталона Фабри—Перо можно варьировать, изменяя расстояние между зеркалами.

Принцип эталона Фабри—Перо используется при создании интерференционных фильтров. В них зеркала и разделяющий их промежуток представляют собой последовательные слои тонкопленочных покрытий на стеклянной подложке. Разделение

зеркал мало: от 100 до 500 нм. Промежуток между ними заполняется оптически прозрачным веществом, например фтористым магнием. В комбинации с полосовым фильтром, подавляющим нежелательное пропускание в соседних участках спектра, подобный прибор может иметь полосу пропускания от долей нанометра до нескольких нанометров. Таковы, например, интерференционные фильтры $\text{H}\alpha$, имеющие длину волны максимума пропускания 656,28 нм и ширину полосы пропускания около 0,05 нм.

ЭФЕМЕРИДА — таблица заранее вычисленных положений Солнца, Луны, планет, спутников или других небесных объектов, рассчитанная для нескольких последовательных моментов времени (от греч. *ephemeris*, *ephemeridos* — на каждый день). В действительности для медленно движущихся небесных тел (Плутона) моменты берутся реже, для быстро движущихся тел (Луны) — чаще.

ЭФЕМЕРИДНАЯ АСТРОНОМИЯ — раздел теоретической астрономии, посвящённый расчёту эфемерид небесных светил на основе законов небесной механики.

ЭФИР — гипотетическая среда, якобы заполняющая всё мировое пространство, обладающая высокой жёсткостью, но при этом не препятствующая движению сквозь неё материальных тел. Существование эфира предполагали физики XIX в., чтобы объяснить распространение электромагнитных волн в пустоте. Чтобы не путать физический эфир с химическим веществом, имеющим то же название, первый нередко называют «светоносным эфиром». В рамках современной теории электромагнитных волн в существовании эфира нет необходимости.

ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА — кинематическое смещение спектральных линий. Явление состоит в том, что вследствие относительного движения источника и наблюдателя частота и длина волны излучения, зарегистрированного наблюдателем, изменяются в сравнении с частотой и длиной волны испущенного излучения. Приближение источника к наблюдателю приводит к росту частоты и уменьшению длины волны, а удаление — к обратному результату (см. *Красное смещение*). Эффект теоретически обосновал ав-

стрийский физик Христиан Доплер (Ch. Doppler, 1803–1853) в 1842 г.

ЭФФЕКТ ЗЕЕМАНА — явление расщепления спектральных линий в случае, когда излучающие или поглощающие атомы находятся в магнитном поле. Компоненты расщеплённых линий поляризованы, что при наблюдениях позволяет определить направление и напряжённость магнитного поля, вызывающего расщепление. Этот эффект открыл нидерландский физик Питер Зеeman (P. Zeeman, 1865–1943) в 1896 г.

ЭФФЕКТ ЛЕНЗЕ—ТИРРИНГА (Lense—Thirring effect) — явление в рамках общей теории относительности, наблюдаемое вблизи вращающихся массивных тел. Проявляется в наличии дополнительных ускорений, сходных с ускорением Кориолиса, то есть в итоге сил, действующих на пробные тела, двигающиеся в гравитационном поле вращающегося массивного тела. Можно сказать, что эффект Лензе—Тирринга состоит в «увлечении» пространства-времени вращающимся телом, т. е. в увлечении инерциальных систем отсчёта. В частности, этот эффект наблюдается как прецессия плоскости орбиты пробной массы, обращающейся вокруг массивного сферически симметричного вращающегося тела, либо как прецессия оси вращения гироскопа в окрестностях такого тела. Предпринимались попытки измерить указанный эффект в гравитационном поле Земли. Для этого анализировалось движение геодезических спутников LAGEOS и LAGEOS II (LAsER GEODynamics Satellite) с лазерными уголковыми отражателями, позволяющими точно измерять дальности. Кроме того, был поставлен специальный эксперимент на спутнике Gravity Probe B (NASA), имевшем сверхпроводящие гироскопы, оси которых под влиянием эффекта Лензе—Тирринга должны были поворачиваться на $0,039$ угловой секунды в год. В целом эти эксперименты подтвердили эффект Лензе—Тирринга, но точность пока не очень высокая: зарегистрирован поворот осей на $0,037 \pm 0,007''$ в год. Но в этом же эксперименте со значительно более высокой точностью (0,3%) подтвержден другой эффект ОТО — эффект геодезической прецессии.

ЭФФЕКТ МЁССБАУЭРА (ядерный гамма-резонанс) — физический эффект, открытый в 1958 г. Рудольфом Мёссбауэром в Гейдельберге и состоящий в резонансном испускании и поглощении γ -квантов ядрами атомов без отдачи. При испускании или поглощении γ -кванта, в соответствии с законом сохранения импульса, свободное ядро массы M получает импульс отдачи $p = E_0/c$ и соответствующую этому импульсу энергию отдачи $E_M = p^2/(2M)$. На эту же величину оказывается меньше по сравнению с разностью энергий между ядерными уровнями E_0 энергия испущенного γ -кванта, а резонансное поглощение наблюдается для фотонов с энергией, равной $E_0 + E_M$. В итоге для одинаковых ядер линии испускания и поглощения разнесены на величину $2E_M$ и условие резонанса может быть выполнено только в случае совмещения этих линий, либо их частичного перекрытия. В газах энергию отдачи получает одно излучающее ядро массы M , тогда как в твёрдых телах помимо процессов, когда за счёт энергии отдачи возбуждаются фононы, при определённых условиях смещение только одного атома или небольшой группы атомов становится невозможным, и отдачу может испытать лишь весь кристалл целиком. Масса кристалла на много порядков больше массы ядра, а значит, и величина E_M становится пренебрежимо малой. В процессах испускания и поглощения γ -квантов без отдачи энергии фотонов равны с точностью до естественной ширины спектральной линии. Эффект Мёссбауэра имеет существенно квантовую природу; он наблюдался при изучении кристаллических, аморфных и порошковых образцов, содержащих один из 87 изотопов 46 элементов. Благодаря этому эффекту ядра радиоактивных изотопов могут использоваться как чрезвычайно точные часы. Одним из впечатляющих применений эффекта Мёссбауэра стал знаменитый опыт Паунда и Ребки, которые в 1960 г. измерили в лабораторных условиях гравитационное смещение частоты γ -квантов, предсказанное общей теорией относительности.

ЭФФЕКТ ПРАЦИ — явление разлета звёзд, образующих двойную систему, в результате потери значительной доли массы при взры-

ве одной из них. Выброшенное при взрыве вещество разлетается за пределы системы и перестает гравитационно влиять на движение её компонентов. Сохранившейся в системе массы может не хватить для удержания звёзд на их первоначальных орбитах. Двойная система перестает существовать при условии $\Delta M/M > r/2a$, если потеря массы происходит за время, много меньшее периода обращения звёзд системы (здесь ΔM — масса, выбрасываемая при взрыве, M — суммарная масса системы, a — большая полуось орбиты, r — расстояние от центра масс в момент взрыва). Для круговых орбит $r/2a = 1/2$. Скорость движения звёзд после взрыва по отношению к первоначальному центру масс системы составляет значительную долю от скорости их орбитального движения и может достигать нескольких сотен км/с.

Приведенные выше формулы получены в предположении, что выброс вещества не направлен. При существенно асимметричном выбросе даже сравнительно малой массы с большой скоростью возможно разрушение двойной системы. Эффект пращи привлекают для объяснения существования так называемых убегающих звёзд спектральных классов О и В с аномально высокими пространственными скоростями, а также одиночных пульсаров с большими скоростями.

ЭФФЕКТИВНАЯ ТЕМПЕРАТУРА — температура абсолютно чёрного тела, излучающего с единицы площади поверхности за единицу времени ту же энергию, что и реальный объект. Эффективная температура — наиболее представительная характеристика состояния излучающего объекта, поэтому она широко используется в астрофизике. Другие методы оценки температуры, основанные на форме спектра, относительной интенсивности спектральных линий или степени ионизации атомов и молекул, могут давать значение температуры, отличное от эффективной. Так, кинетическая температура солнечной короны составляет около 10^6 К, в то время как её эффективная температура — около 100 К; разница этих двух оценок возникает из-за чрезвычайно низкой плотности вещества в ко-

роне, приводящей к её почти полной прозрачности. Различные оценки температуры равны друг другу в состоянии термодинамического равновесия, которое физически реализуется глубоко в недрах звёзд.

Ю

ЮЖНАЯ ГИДРА — южное околополюсное созвездие «водяной змеи», ни чем особым не примечательное. Жёлтый карлик β Нуи похож на Солнце и удален всего на 25 св. лет.

ЮЖНАЯ КОРОНА — южное созвездие, расположенное между южными частями Стрельца и Скорпиона. Впервые под этим именем появилось в «Альмагесте» Птолемея. Это маленькое созвездие целиком лежит в Млечном Пути. Интерес в нём привлекает область, где перемешаны яркие и тёмные туманности: NGC 6726, 6727 и 6729. Любопытна также система γ CrA, состоящая из двух звезд-близнецов, очень похожих на Солнце, разделенных углом $2''$ и обращающихся с периодом в 120 лет.

ЮЖНАЯ РЫБА — небольшое экваториальное созвездие к югу от Водолея и Козерога. Кроме яркой звезды Фомальгаут (что по-арабски значит «рот рыбы») все остальные звезды в нём весьма тусклые. Спутник Фомальгаута, экзопланета Фомальгаут β — первая, оптическое изображение которой удалось получить в 2008 г. с помощью космического телескопа «Хаббл». Эта планета-гигант движется вдоль внутреннего края обширного (протопланетного?) пылевого диска, вдвое превышающего размером пояс Койпера, окружающий Солнце.

ЮЖНЫЙ КРЕСТ — южное созвездие, по занимаемой на небе площади наименьшее из всех. Выделено И. Байером из созвездия Кентавр в 1603 г., хотя первое упоминание об этой полезной для навигаторов фигуре содержится в письме Америго Веспуччи от 1503 г. Крест лежит в южной части Млечного Пути и занимает первое место по количеству видимых невооружённым глазом звёзд на единицу площади созвездия. Фигуру Креста образуют четыре яркие звезды: α , β , γ и δ , причём линия от γ к α указывает на южный полюс мира. Изумительная

двойная звезда Акрукс (α Cru) содержит два компонента ($1,4^m$ и $1,8^m$) на расстоянии $4,4''$. К востоку от неё видна тёмная «дыра» на фоне Млечного Пути — Угольный Мешок, одна из ближайших тёмных туманностей на расстоянии немногим более 500 св. лет. Размер этого газово-пылевого облака 70×60 св. лет, на небе оно занимает область $7^\circ \times 5^\circ$. Рядом с ним находится «Шкатулка с бриллиантами» (NGC 4755) — красивое рассеянное скопление, названное так Джоном Гершелем, поскольку оно содержит много звёзд ярких цветов — голубых и красных сверхгигантов.

ЮЖНЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК — маленькое южное созвездие. Об этой характерной группе звёзд впервые упомянул в 1503 г. Америго Веспуччи, и лишь спустя столетие его описали Питер Кейзер и Фредерик де Хоутман. Оно почти целиком лежит в Млечном Пути, но ничего примечательного не содержит.

ЮЛИАНСКАЯ ДАТА (Julian Date) — дата и время (т. е. номер суток с дробной частью) в системе непрерывного счёта времени, предложенной в 1583 г. Жозефом Скалигером (1540–1609) для целей хронологии. Юлианская дата какого-либо события указывается в целом числе и десятичных долях юлианских дней (Julian Day, JD). Счёт юлианских дней ведётся от гринвичского полудня 1 января 4713 г. до н. э. по юлианскому календарю (что соответствует -4712 г. по астрономическому счёту лет, содержащему нулевой год). Каждый день при этом счёте имеет свой порядковый номер. Юлианские сутки начинаются в средний гринвичский полдень. Например, юлианская дата 2456172,5 JD соответствует полуночи с 1 на 2 сентября 2012 г. Моменты астрономических наблюдений обычно выражают в юлианских сутках и их долях. Например, 3 часа ночи в Гринвиче 18 октября 2001 г. соответствует юлианской дате 2452200,625 JD.

Дата начала отсчёта юлианских дней знаменует начало юлианского периода длительностью в 7980 лет = $28 \times 19 \times 15$ лет, представляющего собой наименьшее кратное трёх циклов: солнечного в 28 лет, приводящего дни недели на те же числа месяца, лунного цикла Метона в 19 лет, приводящего фазы Луны на прежние числа месяца, и периода в 15 лет — так называемого ин-

дикта, исходно регулировавшего сбор подати в римской империи, а в 312 г. по указанию византийского императора Константина Великого сменившего олимпиады в качестве цикла исчисления времени. Год 4713 до н. э. был первым годом одновременно во всех трёх циклах. Конец первого юлианского периода придется на 23 января 3268 г. по григорианскому календарю. Таблицы юлианских дат приводятся в астрономических ежегодниках, по ним для любой даты, используемой в астрономических расчётах, можно найти её юлианский номер.

В 1960-е гг. у астрономов получил распространение счёт времени в модифицированных юлианских днях (MJD). В нём начало отсчёта сдвинуто на середину XIX в., а начало суток перенесено на гринвичскую полночь, что удобнее в практических расчётах. Модифицированные юлианские дни связаны с юлианскими днями формулой $MJD = JD - 2400000,5$. См. также *Гелиоцентрическая юлианская дата*, *Юлианский период*.

ЮЛИАНСКИЙ ПЕРИОД — универсальный период, используемый в астрономии и хронологии; введен французским историком Жозефом Скалигером в 1583 г. «Юлианским» Скалигер назвал его в честь своего отца, известного ученого Юлия Цезаря Скалигера.

Юлианский период содержит 7980 лет, полученных как произведение солнечного цикла (28 лет, по прошествии которых даты юлианского календаря приходятся на те же дни недели), цикла Метона (19 лет, по прошествии которых все фазы Луны приходятся на те же дни года) и цикла римских индиктов (15 лет). Началом юлианского периода Скалигер выбрал 1 января 4713 г. до н. э. по продолженному в прошлое юлианскому календарю, поскольку все три перечисленные выше цикла сходятся в этой дате (точнее 0,5 января, поскольку за начало юлианских суток принят средний гринвичский полдень; поэтому к полуночи, с которой начинается 1 января, уже проходит 0,5 юлианских суток). Текущий юлианский период завершится в конце 3267 н. э. (23 января 3268 г. по григорианскому календарю).

Чтобы определить номер года в юлианском периоде, нужно прибавить к нему число 4713, сумма и будет искомым номером.

Например, 1998 г. имел номер 6711 в юлианском периоде. Каждый день этого периода имеет свой юлианский номер ($JD = \text{Julian Day}$), равный количеству суток, прошедших с начала периода до полудня этого дня (см. *Юлианская дата*). Так, 1 января 1993 г. имеет номер $JD\ 2448989$, т. е. к гринвичскому полдню этой даты от начала периода прошло именно столько полных суток. Дата 1 января 2000 г. имеет номер $JD\ 2451545$. В астрономических календарях приведены числа юлианского периода на каждый день года.

ЮПИТЕР — крупнейшая планета Солнечной системы, пятая от Солнца, удалённая от него на 779 млн км = 5,20 а. е. Масса $1,899 \times 10^{27}$ кг (318 масс Земли). Экваториальный радиус 71492 км (11,2 радиуса Земли). Средняя плотность $1,33$ г/см³. Окружен очень разреженными пылевыми кольцами и системой из 63 спутников (данные 2011 г.). Четыре из них (галилеевы спутники — Ио, Европа, Ганимед и Каллисто) очень массивны и, по сути, являются небольшими планетами. Атмосфера Юпитера в основном состоит из водорода (89% объёма) и гелия (11%). Недра, предположительно, состоят из жидкого водорода, частично в металлическом состоянии. Глубоко в недрах возможно наличие твёрдого ядра. Температура верхнего облачного слоя -140 °C. Период вращения вокруг оси 9,9 ч.

Я

ЯДЕРНАЯ АСТРОФИЗИКА — раздел астрофизики, изучающий роль процессов микромира в космических явлениях. Предметом ядерной астрофизики являются ядерные процессы в звёздах и других космических объектах, приводящие к выделению энергии и образованию химических элементов (изменению состава объектов). Эти процессы включают ядерные реакции и радиоактивный распад неустойчивых ядер.

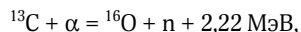
ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ — процессы превращения атомных ядер при их взаимодействии между собой и с элементарными частицами. В астрофизике ядерные реакции рассматриваются в основном в двух аспектах — как источник энергии звёзд и как причина образования и изменения содержания

химических элементов во Вселенной в целом и в отдельных её структурных элементах — галактиках, звёздах, межзвёздной среде и т. д.

Ядерные (точнее, термоядерные) реакции служат основным источником энергии излучения звёзд. Большую часть своей активной жизни звезда получает энергию в результате ядерных реакций превращения ядер водорода (протонов) в ядра гелия. Эти реакции происходят во внутренней области звезды, где температура газа превышает 10 млн К. Огромные запасы внутриядерной энергии постепенно освобождаются в недрах звезды, обеспечивая её длительное существование в виде почти не меняющегося со временем (стационарного) гидростатически равновесного тела. В звёздах типа Солнца этот процесс может продолжаться более 10 млрд лет. После «выгорания» водорода температура в ядре звезды повышается до 100 млн К, и там начинается ядерная реакция превращения гелия в углерод. В процессе эволюции звёзд, значительно более массивных, чем Солнце, цепочка ядерных реакций продолжается и после выгорания гелия, приводя к образованию в недрах звезды всё более тяжёлых элементов — вплоть до ядер атомов железа, обладающих максимальной энергией связи на один нуклон.

Ядерные реакции играют определяющую роль и на нестационарных стадиях эволюции звёзд, в том числе при вспышках звёзд. На всех этих стадиях звёздной эволюции посредством ядерных реакций синтезируется большинство встречающихся в природе тяжёлых элементов. После формирования у массивной звезды железного ядра происходит его гравитационный коллапс, который, по-видимому, приводит к взрыву сверхновой. В результате ядерных реакций, происходивших в недрах звёзд или при взрывах звёзд — новых и сверхновых, образовалось основное количество химических элементов тяжелее гелия, существующих в природе, включая и те элементы, из которых состоит наша Земля.

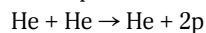
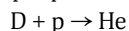
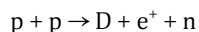
Способы записи ядерных реакций. Упомянется два способа записи. Один из них аналогичен обычным химическим уравнениям, например:



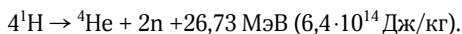
где α — это ядро ^4He . Вместо знака «=» чаще ставится стрелка ($\rightarrow$), чтобы подчеркнуть направление реакции. В правой части может быть указан энегетический выход реакции Q (в МэВ). Положительное значение Q соответствует выделению, отрицательное — поглощению энергии.

Во втором (сокращённом) способе записи выделяются тяжёлые ядра (мишень и продукты реакции), а бомбардирующая и выбрасываемая (или выбрасываемые) более лёгкие частицы пишутся в скобках и разделяются запятой. Указанная выше реакция записывается при этом как $^{13}\text{C}(\alpha, n)^{16}\text{O}$, а все реакции такого типа называют реакциями (a, n) . Большое значение в астрофизике имеют также реакции (p, γ) , (n, γ) , (p, n) , $(p, 2n)$, (α, γ) и др. В число ядерных реакций включают и определяемые слабым взаимодействием β -процессы. Распад трития можно записать как $^3\text{H}(e^-, \bar{\nu})^3\text{He}$, а захват протона электрона — элементарный акт нейтронизации — как $^1\text{H}(e^-, n)p$. В сокращённой записи вне скобок стараются по возможности использовать химические символы элементов (например, ^1H вместо p и ^3H вместо трития T). Кроме того, дейтерий ^2H иногда обозначают как ^2D , а тритий ^3H как ^3T .

Водородные термоядерные реакции в звёздах протекают двумя путями в зависимости от начальной температуры T_c в центре звезды, которая связана с её массой M в момент достижения главной последовательности. При $T_c < 1,7 \cdot 10^7 \text{ К}$ ($M \leq 1,2 M_\odot$) основной оказывается цепочка реакций водородного цикла (pp-цепочка), тогда как при более высоких температурах преобладают реакции углеродного цикла (CNO-цикл). Синтез гелия из водорода в реакциях pp-цепочки протекает в основном так:



Синтез гелия из водорода в реакциях CNO-цикла протекает при участии катализаторов — малых примесей изотопов C, N и O в первоначальном звёздном веществе. Общий результат pp-цепочки или CNO-цикла можно записать в виде:



Часть освобождающейся в реакции энергии уносят нейтрино: $\approx 0,6$ МэВ в водородном цикле и $\approx 1,7$ МэВ в углеродном цикле на один образовавшийся атом гелия. Остальная энергия постепенно просачивается к поверхности звезды и поддерживает её свечение многие миллионы и миллиарды лет.

ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ — силы, действующие между нуклонами, т. е. протонами и нейтронами — частицами, из которых состоят атомные ядра. Ядерные силы представляют собой проявление сильного взаимодействия — одного из фундаментальных взаимодействий элементарных частиц.

Развитая в последние десятилетия кварк-глюонная картина строения частиц, участвующих в сильных взаимодействиях (адронов), представляет нуклон как систему из трёх валентных кварков, взаимодействующих за счёт обмена глюонами и находящихся внутри некоторого «пузыря» (обычно называемого кварковым мешком), окруженного давящим на него снаружи вакуумом. В такой картине ядерных сил на малых расстояниях доминирует механизм слипания двух нуклонных мешков с образованием общего шестикваркового мешка. Поэтому два нуклона не могут быть рядом, на расстоянии меньше размеров общего мешка, что позволяет просто и количественно точно объяснить возникновение отталкивательного кора в ядерных силах, а также и ряд других характеристик ядерных сил. Несомненно, кварк-глюонная картина ядерных сил наиболее фундаментальна, однако ещё требуется её развитие.

ЯДРО ГАЛАКТИКИ — центральная область крупной спиральной или эллиптической галактики, выделяющаяся высокой яркостью. Точного определения этот термин не имеет. Первоначально астрономы называли «ядром» центральный звездообразный источник света, заметный на фотографиях некоторых крупных галактик. У близких галактик это область размером порядка 10 пк. Позже специалисты разных профилей стали понимать под ядром области разного размера — от долей парсека до килопарсеков — в зависимости от применяющейся на-

блюдательной техники и изучаемых с её помощью процессов. Поэтому, говоря о ядре галактики, необходимо уточнять, область какого размера имеется в виду.

Основная масса ядра галактики, как правило, содержится в звёздах. Очень часто в ядрах наблюдаются газовые диски радиусом в сотни парсеков, вращающиеся вокруг центра галактики. Многие ядра галактик (в том числе и нашей Галактики) — области интенсивного звёздообразования. У ряда сравнительно близких галактик найдена очень высокая концентрация массы в ядре, позволяющая предположить существование там сверхмассивных чёрных дыр с массой до нескольких миллиардов масс Солнца. Несколько процентов всех спиральных и эллиптических галактик обладают активными ядрами: например, сейфертовские галактики и радиогалактики. Активность ядер галактик имеет различные проявления, и связана с выделением большого количества энергии в форме мощного электромагнитного излучения, энергичных элементарных частиц и бурных движений облаков газа со скоростями в тысячи км/с. Природа активности ядер галактик до конца не разгадана. Предполагают, что она связана с накоплением межзвёздного газа в ядре и его аккрецией на сверхмассивную чёрную дыру.

ЯНСКИЙ (jansky, Jy) — внесистемная единица спектральной плотности потока излучения, применяемая в астрономии (в основном в радиоастрономии). Названа в честь Карла Янского, открывшего в 1931 г. космическое радиоизлучение. $1 \text{ Ян} = 10^{-26} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ Гц})$; $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$. Эта единица была принята в 1970 г. Международным астрономическим союзом (IAU). В радиоастрономии часто используют дольную единицу «миллианский»: $1 \text{ мЯн} = 10^{-29} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ Гц})$.

ЯНСКИЙ, Карл Гут (Jansky, Karl Guthe) (22.10.1905, Норман, шт. Оклахома, США — 14.02.1950, Ред-Бэнк, шт. Нью-Джерси, США) — американский радиоинженер, первооткрыватель космического радиоизлучения. В 1927 г. окончил Висконсинский университет, затем преподавал там же. С 1928 г. инженер в лабораториях телефонной компании «Белл» в Нью-Джерси. В 1931 г., изучая на Холмделском полигоне фирмы «Белл»

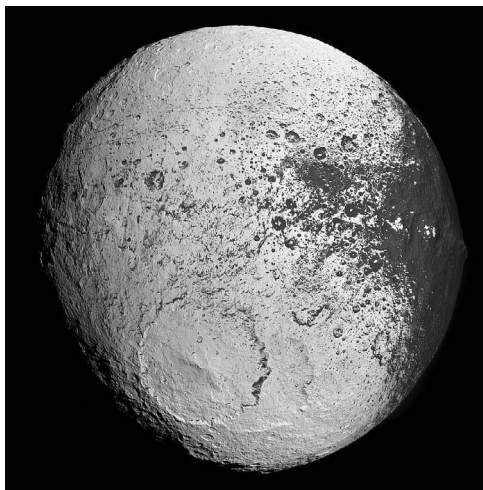
атмосферные радиопомехи в метровом диапазоне волн (14 м), обнаружил постоянный радиосум неизвестного происхождения, источник которого он отождествил в апреле 1933 г. с Млечным Путём. В июле 1935 г. представил статью, в которой указывал, что «звёздный шум» имеет наибольшую интенсивность, когда антенна направлена на центральную часть Млечного Пути. Эта работа не получила отклика ни среди астрономов, ни среди радиоинженеров, и в 1938 г. он прекратил исследования в этой области.

Работы Янского были продолжены в начале 1940-х гг. Г. Ребером, Дж. С. Хеем, Дж. Саутуортом и др. Радиоастрономия окончательно оформилась как одна из важнейших отраслей астрономии лишь после окончания Второй мировой войны.

ЯНУС (S X, Janus) — спутник Сатурна. Автор открытия — Одуэн Дольфюс (Audouin Dollfus). Большая полуось орбиты 151,46 тыс. км. Орбитальное движение прямое (т. е. в направлении вращения планеты). Орбитальный период 0,69466 сут. Эксцентриситет орбиты 0,007. Наклонение орбиты к экватору планеты 0,163°. Размер 203 × 185 × 153 км. Масса $1,9 \cdot 10^{18}$ кг. Средняя плотность 0,63 г/см³. Ускорение свободного падения у поверхности 1,5 см/с². Альбеда 0,7. Блеск 14,4^m и максимальное угловое расстояние от планеты 24" для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности — около 78 К.

Янус движется практически по той же орбите, что и другой спутник Сатурна — Эпиметей. Радиусы их орбит различаются примерно на 100 км, т. е. меньше, чем на размер самих спутников. Но они не сталкиваются, а просто обмениваются при сближении орбитами за счёт взаимного тяготения: один ускоряется, другой тормозится. Этот обмен происходит раз в 4 года (земных).

ЯПЕТ (SVIII, Iapetus) — спутник Сатурна. Джованни Доменико Кассини открыл его 25 октября 1671 г. Впервые заметив спутник с западной стороны от Сатурна, Кассини надеялся обнаружить его через несколько месяцев с восточной стороны, но не смог. На следующий год история повторилась: с западной стороны от планеты спутник был виден, а с восточной — нет. Наконец, в 1705 г.



Япет. Фото зонда «Кассини» (NASA)

с помощью более сильного телескопа Кассини смог увидеть этот странный спутник и на востоке, где его блеск оказался почти на 2 звёздных величины тусклее.

Уже в наше время выяснилось, что Япет движется вокруг Сатурна подобно Луне вокруг Земли: его осевое вращение и орбитальное обращение происходят с одинаковой угловой скоростью, т. е. к Сатурну всегда обращено одно и то же полушарие спутника. Поэтому и относительно направления движения по орбите он тоже ориентирован постоянно: одно полушарие ведущее (переднее), а второе — ведомое (заднее, или отстающее). Орбитальное движение спутника прямое — он движется по орбите в направлении вращения планеты, а значит, в направлении вращения Солнечной системы в целом. Поэтому, наблюдая Япет к востоку от Сатурна, мы видим его ведущее полушарие, а к западу — ведомое. Существенная разница в блеске свидетельствует, что эти два полушария сильно различаются по яркости: у заднего полушария светлая поверхность, у переднего — тёмная. Этой «двуликостью» Япет отличается от других спутников.

Большая полуось орбиты Япета 3560,82 тыс. км. Орбитальный период составляет 79,321 сут. Эксцентриситет орбиты 0,0286. Наклонение орбиты к экватору планеты 15,5°. Размеры 1492 × 1492 × 1424 км. Масса $1,8 \cdot 10^{21}$ кг. Средняя плотность

1,09 г/см³. Альbedo от 0,05 до 0,5. Видимый блеск 10,2^m–11,9^m, максимальное угловое расстояние от планеты 9'36" для земного наблюдателя в момент средней оппозиции планеты. Температура поверхности у экватора днём в тёмных областях 129 К, в светлых 113 К. Ускорение свободного падения у поверхности около 22 см/с². Вторая космическая скорость у поверхности 573 м/с.

Главная загадка этого спутника — его двуцветная раскраска: одно полушарие как будто покрыто чёрной копотью, а второе — свежеснеженным снегом. Правда, тёмные и светлые области распределены не совсем по полушариям: светлым веществом покрыты ещё и полярные области спутника, а тёмное вещество вдоль экваториальной зоны заходит в заднее, светлое, полушарие. Впрочем, тёмное вещество не совсем чёрное: оно имеет красновато-коричневый оттенок и, возможно, органический состав. Остаётся неясным, возникло тёмное вещество вследствие процессов на самом Япете или попало извне. Одна из основных теорий образования двух различных видов поверхности Япета — самоподдерживающийся процесс испарения водяного пара с тёмной половины спутника и выпадение его в качестве инея на светлой стороне. Температура тёмного полушария около –144 °С. Такая температура дает возможность медленной сублимации водяного льда, т. е. его прямого испарения, минуя жидкое состояние. Пары воды образуют вокруг спутника разреженную атмосферу, а поскольку в светлом полушарии температура ниже, они тонким слоем инея оседают на поверхность, делая её ещё более светлой. Наличие белых полярных шапок не требует объяснения. А различие полушарий в экваториальной области могло возникнуть как результат небольшой начальной разницы в альbedo под действием положительной обратной связи (тёмные участки нагреваются Солнцем сильнее светлых).

Одна из загадок Япета — уникальный горный хребет, кольцом опоясывающий экватор спутника. Его высота достигает 13 км, ширина 20 км, протяжённость — около 1300 км. Из-за него Япет напоминает грецкий орех или целлулоидный мячик, склеенный из двух одинаковых половинок. Про-

исхождение этого горного кольца не ясно. Одна из гипотез говорит, что у Япета был собственный небольшой спутник, который оказался разорван приливным влиянием Япета, из этого вещества сформировалось кольцо, которое постепенно осело на экватор Япета.

ЯРКОСТНАЯ ТЕМПЕРАТУРА — параметр, характеризующий спектральную плотность потока излучения тел, имеющих непрерывный спектр. Ярковая температура ($T_{\text{я}}$ или $T_{\text{б}}$) равна температуре абсолютно чёрного тела того же углового размера Ω , что и излучающее тело, и дающего такой же поток излучения на данной длине волны λ .

В случае теплового излучения ярковая температура связана с термодинамической температурой излучающего тела T соотношением: $T_{\text{я}} = T [1 - \exp \{-t(\lambda)\}]$, где $t(\lambda)$ — оптическая толщина. Если на данной длине волны излучающее тело непрозрачно ($t \gg 1$), то ярковая температура равна T . Для прозрачных излучающих тел $T_{\text{я}} < T$.

Примеры: ярковая температура Солнца на волне $\lambda = 450$ нм около 6200 К, на волне $\lambda = 650$ нм около 6000 К. Собственное излучение областей нейтрального водорода межзвёздной среды соответствует $T_{\text{я}} \sim 100$ К ($\lambda = 21$ см). Для Венеры $T_{\text{я}} \approx 600$ К ($\lambda = 3,15$ см), для Юпитера $T_{\text{я}} \approx 200$ К ($\lambda = 8\text{--}14$ мкм). Ярковые температуры источников нетеплового излучения могут быть очень велики: например, у пульсаров они достигают 10³¹ К.

ЯРКОСТЬ — характеристика излучательной способности протяжённых тел в определённом направлении. Яркость тела в данном направлении определяется энергией, излучаемой в единицу времени внутри единичного телесного угла элементом поверхности тела, проекция которого на плоскость, перпендикулярную выбранному направлению, имеет единичную площадь. Единицей яркости в системе СИ служит «нит» (обозначение: нт, nt; сокращение от лат. *niteo* — блещу, сверкаю) — это яркость поверхности, каждый квадратный метр которой излучает в перпендикулярном к ней направлении в пределах угла 1стерадиан (ср) поток, равный 1люмену. Фактически нит — это «кандела на квадратный метр»: 1 нт = 1 кд/1 м². Например, типичная яркость дисплея компьюте-

ра заключена в пределах от 200 до 300 нитов. Связь с другими единицами (стильб, ламберт) такова: $1 \text{ нт} = 9,95 \cdot 10^{-5} \text{ сб} = 3,13 \cdot 10^{-4} \text{ Лб}$.

В астрономии яркость часто измеряют видимой звёздной величиной поверхности с телесным углом площадью в 1 квадратную секунду дуги ($= 2,35 \cdot 10^{-11} \text{ ср}$). Яркость ночного неба составляет $m_V \approx 21,6$ с квадратной секунды, т. е. $\approx 2 \cdot 10^{-4}$ нит.

ЯРЧАЙШИЕ ЗВЁЗДЫ — самые яркие звёзды на ночном небе, хорошо видимые невооружённым глазом. Их ещё называют навигационными звёздами, поскольку они видны даже не в самые тёмные ночи или сквозь слабую дымку облаков, что облегчает ориентацию по ним. Почти все ярчайшие звёзды имеют собственные имена (главным образом арабского происхождения), дошедшие до нас с глубокой древности. Пять самых ярких из них: Сириус (α Большого Пса), Канопус (α Киля), Толиман (α Кентавра), Арктур (α Волопаса) и Вега (α Лиры).

Ясли — рассеянное звёздное скопление, расположенное в созвездии Рак. Латинское название этого скопления — *Praesepe* — имеет несколько значений: стойло, хлев, ясли, кабак, притон. Другие его названия и обозначения — Улей, Beehive Cluster, M44, NGC 2632, Cr 189. Скопление расположено на расстоянии около 180 пк (590 св. лет) от Солнца. В нём более 200 звёзд, самые яркие из которых имеют блеск $6,3^m$, т. е. они с трудом различимы невооружённым глазом. Суммарный блеск звёзд скопления составляет $3,1^m$, но поскольку на небе оно занимает большую площадь (угловой диаметр $1,5^\circ$), сильного впечатления не производит. Ясли похожи на Гиады: имеют одинаковый с ними возраст (660 млн лет), а также направление и скорость движения в пространстве. Это может означать, что оба скопления сформировались в одном межзвёздном облаке.

ЯЧЕИСТАЯ СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ — крупномасштабная неоднородность пространственного распределения галактик и скоплений галактик, большая часть которых сосредоточена в «стенках ячеек», прак-

тически пустых внутри. Характерный размер ячеек около 100 Мпк, толщина стенок 3–4 Мпк. Отдельные фрагменты ячеистой структуры иногда называют сверхскоплениями галактик. Часто сверхскопления имеют сильно вытянутую форму, наподобие нитей, поскольку образованы пересечением стенок ячеек. Наиболее крупные и богатые скопления галактик располагаются в узлах, образованных пересечением нитей (рёбер) ячеек. Самые протяжённые области высокой пространственной плотности галактик обычно называют «великими стенами». Например, в середине 1980-х гг. обзор красных смещений тысяч галактик, предпринятый Гарвард-Смитсоновским астрофизическим центром (США), выявил первую Великую стену длиной не менее 700 млн св. лет (215 Мпк). К концу 1990-х гг. Слоановский цифровой обзор неба (SDSS) охватил значительно большую область Вселенной и, в частности, выявил вторую Великую стену длиной более миллиарда св. лет (307 Мпк).

ЯЩЕРИЦА — небольшое северное созвездие. Расположено между Лебедем и Андромедой; ярких звёзд не имеет, хотя северная его часть лежит в Млечном Пути. Очень необычный объект нашёл в этом созвездии в 1929 г. немецкий астроном Куно Гоффмейстер (1892–1968), основатель Зоннебергской обсерватории, персонально открывший около 10 000 переменных звёзд! Вначале и этот объект он принял за переменную звезду и обозначил как BL Lac. Но выяснилось, что это очень далёкая галактика, активностью своего ядра напоминающая квазары, но, в отличие от них, не имеющая линий в спектре и демонстрирующая очень сильную (до 100 раз) переменность блеска. Позже были открыты и другие объекты такого рода; некоторые из них (RW Tau, AP Lib и др.) тоже сначала считались переменными звёздами. Астрономы подозревают, что это активные ядра очень крупных эллиптических галактик. Теперь объекты такого типа называют лацеридами (от лат. названия созвездия *Lacerta*).



Полезные интернет-ссылки



Персональная страница В. Г. Сурдина
lfrm1.sai.msu.ru/~surdin/



База данных внегалактических объектов
<http://leda.univ-lyon1.fr>



Японская сеть исследователей переменных звёзд (VSNET)
<http://ooruri.kusastro.kyoto-u.ac.jp/mailman/listinfo>



National Space Science Data Center
(Центр данных астрономической и космической информации NASA)
nssdc.gsfc.nasa.gov



Общий каталог переменных звёзд
www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/



Паломарский обзор неба
<https://archive.stsci.edu/dss/>



Центр астрономических данных NASA
adc.gsfc.nasa.gov



Центр астрономических данных в Страсбуре
cds.u-strasbg.fr



База данных об астрономических объектах за пределом Солнечной системы (SIMBAD)
simbad.u-strasbg.fr



Центр малых планет
cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mcp.html



Центральное бюро астрономических телеграмм
www.cbat.eps.harvard.edu/index.html



Числа Вольфа (начиная с 1700 г.)
www.sidc.be/silso/datafiles



Астрономическая лига (Astronomical League)
www.astroleague.org



Международная организация любительских наблюдений Солнца
www.inter-sol.org



Московский астрономический клуб
astroclub.ru



Тихоокеанское астрономическое общество
www.aspsky.org



Научно-популярное издание

Серия «История и наука Рунета.
Подарочное издание»

Сурдин Владимир Георгиевич

Понятный космос: от кварка до квазара

Зав. редакцией *Елена Толкачева*

Ведущий редактор *Александра Швыркова*

Корректор *Марина Крыжановская*

Технический редактор *Наталья Чернышева*

Компьютерная верстка *Натальи Васильевой*

Дизайн обложки *Виктора Чапурина*

Подписано в печать 28.08.2023. Формат 70×100/16.

Печать офсетная. Гарнитура Margon. Бумага creamy

Усл. печ. л. 31,2. Доп. тираж 2000 экз. Заказ №

Общероссийский классификатор продукции ОК-034-2014 (КПЕС 2008);

58.11.1 — книги, брошюры печатные.

Произведено в Российской Федерации. Изготовлено в 2023 г.

Изготовитель: ООО «Издательство АСТ»

129085 г. Москва, Звездный бульвар, д. 21, строение 1, комната 705, помещение I, этаж 7

Наш электронный адрес: www.ast.ru

«Баспа Аста» деген ООО

129085, Мәскеу қаласы, Звездный бульвары, 21-үй, 1-құрылым, 705-бөлме, I-жай, 7-қабат

Біздің электрондық мекенжайымыз: www.ast.ru

Интернет-магазин: www.book24.kz

Интернет-дүкен: www.book24.kz

Импортёр в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».

Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Дистрибьютор и представитель по приёму претензий на продукцию в республике Казахстан:
ТОО «РДЦ-Алматы»

Қазақстан Республикасында дистрибьютор

және өнім бойынша арыз-талаптарды қабылдаушының

өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС, Алматы қ., Домбровский көш., 3а, литер Б, офис 1.

Тел.: 8(727) 251 59 89, 90, 91, 92

Факс: 8(727) 251 58 12, вн. 107; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz

Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Өндірген мемлекет: Ресей

Сертификация қарастырылмаған

ВЛАДИМИР ГЕОРГИЕВИЧ СУРДИН —

российский астроном и просветитель. Старший научный сотрудник Государственного астрономического института имени П.К. Штенберга, доцент физического факультета МГУ. Лауреат Беляевской премии за цикл научно-популярных статей.

«ПОНЯТНЫЙ КОСМОС: ОТ КВАРКА ДО КВАЗАРА» —

это настольная энциклопедия, в которой содержатся развернутые объяснения терминов и понятий, используемых в современной астрономии и астрофизике, данные о звездах, планетах, галактиках и других небесных объектах.

Из чего состоит Вселенная? Что такое черная дыра? Как светят звезды? Ответы на эти и многие другие вопросы подготовил российский астроном и просветитель Владимир Сурдин. Книга рассчитана на школьников, студентов, учителей и журналистов; многие ее статьи привлекут внимание продвинутых любителей астрономии и даже профессиональных ученых. Большинство данных приведено по состоянию на начало 2023 г.

КНИГИ ДЛЯ ЛЮБОГО
НАСТРОЕНИЯ ЗДЕСЬ:

www.ast.ru / www.book24.ru

 vk.com/izdatelstvoast

 ok.ru/izdatelstvoast



ИЗДАТЕЛЬСКАЯ
ГРУППА АСТ

ISBN 978-5-17-159905-8



9 785171 599058