

## Пояс Койпера

Рафаил Нудельман

Более полувека назад американский астроном Джерард Петер Койпер высказал мысль, что далеко за орбитой последней крупной планеты (Нептун), могла когда-то существовать часть того протопланетного облака, из которого возникла Солнечная система. Со временем выяснилось, что остатки протопланетного облака сохранились до наших дней.

### Загадочный пояс

Койпер был не первым, кто высказал предположение о существовании на задворках Солнечной системы протопланетного облака. Более того, сам он думал, что небесные тела, когда-то населявшие эти окраины, вряд ли сохранились до наших дней, потому что воздействие крупных планет должно было вытолкнуть их из Солнечной системы. Но когда в 1990-е годы астрономы направили туда новые мощные телескопы то, к своему удивлению, действительно обнаружили там множество небесных тел, обращающихся вокруг Солнца. Они дали этому сборищу название "пояс Койпера".



nasa.gov

(Конечно, это было иронией судьбы, потому что Койпер-то отрицал, что подобные тела еще существуют.) С тех пор число объектов, обнаруженных в этом поясе, перевалило за тысячу (и астрономы думают, что их там сотни тысяч), а их удивительные свойства сделали пояс Койпера едва ли не самой загадочной частью Солнечной системы.

Начать с того, что там обнаружались тела, размер и масса которых были сравнимы с параметрами Плутона, до тех пор считавшегося "девятой планетой" (один из этих объектов, Эрида, оказался даже на целых 27 процентов массивнее Плутона). Стало очевидно, что Плутон является не одной из обычных планет, а просто ближайшим (и потому первым замеченным) объектом из этого огромного сообщества малых тел, имеющих общее происхождение и особенности.

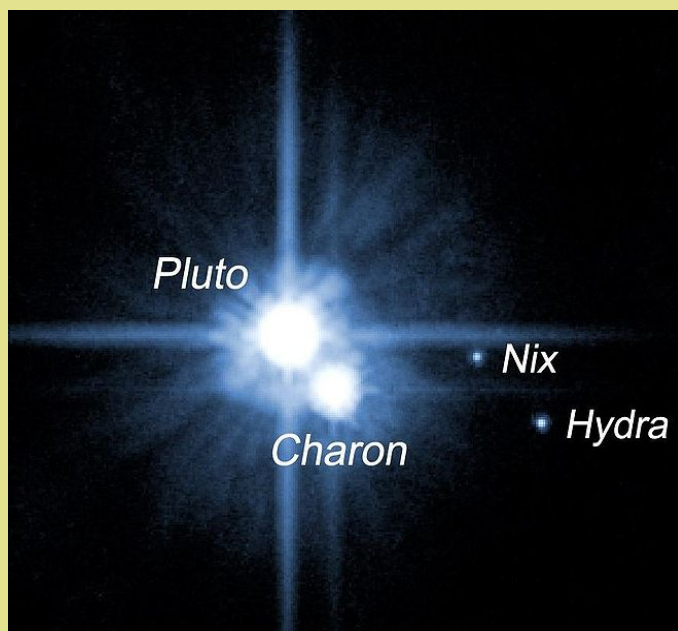
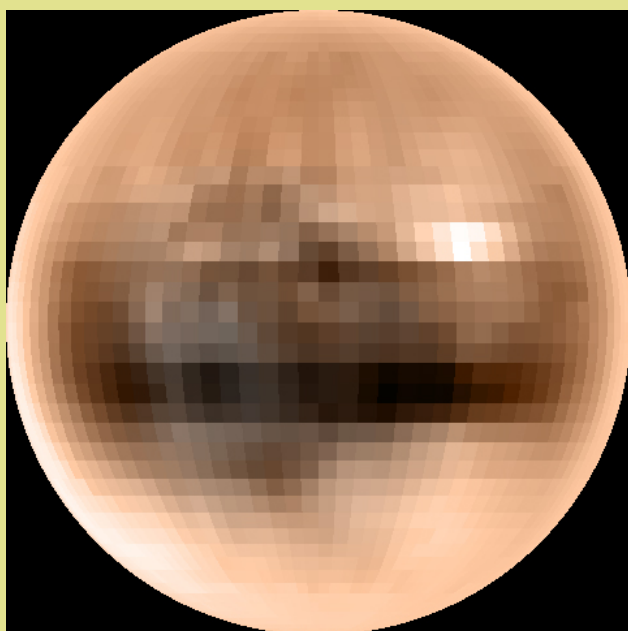
Это вызвало необходимость уточнить, что вообще можно считать планетой. Сегодня по ту сторону орбиты Нептуна найдено уже более десятка крупных объектов, и благодаря этому выявились их общие признаки. Оказалось, что хотя все они почти шарообразны и обращаются вокруг Солнца, как обычные планеты, но отличаются от последних тем, что не так уж разительно превосходят других своих соседей. Если Земля, например, в миллионы раз больше, чем все вместе взятые метеориты и астероиды, проходящие рядом с ней, то Эрида или Плутон в 10—13 раз меньше суммы масс своих ближайших соседей, потому что не сумели вырасти за их счет.



wikipedia.org



Поэтому Международный Астрономический Союз, в конце концов, отказал этим телам (включая Плутон) в планетном статусе и выделил их в особый разряд "карликовых планет". По сути, это означает, что "планетой" можно называть лишь такое небесное тело, которое в процессе своего образования вобрало в себя практически весь находившийся на его орбитальном пути "строительный материал" первичного облака. Иными словами, в окрестности орбиты планеты не должно быть обломков, соударения с которыми могли бы изменить ее траекторию или выбросить с орбиты. Планеты расчищают себе "широкую орбитальную дорогу".



**Изображение Плутона, построенное по результатам наблюдения с Земли**

автор: НАСА

**Плутон и три его известных спутника. Плутон и Харон — два ярких объекта в центре, правее — два слабых пятнышка — это Никта и Гидра**

Среди объектов пояса Койпера есть весьма необычные. Скажем, Плутон со своим сравнимым по величине спутником Хароном образуют "двойную систему". (В 2005 году были открыты также два меньших спутника Плутона - Никта и Гидра - *прим. ред.*) Сейчас уже известно, что почти треть транснептуновых объектов являются двойными. Так, объект под номером 2003EL<sub>61</sub> (Хаумеа), открытый в 2003 году, имеет форму продолговатой дыни, а не шара, и окружен облаком более мелких "лун", движущихся почти по той же орбите, — видимо, остатков какого-то древнего столкновения. Карликовая планета Седна имеет такую вытянутую орбиту, что удаляется от Солнца на 900 астрономических единиц (астрономическая единица — это расстояние от Солнца до Земли).



**Хаумеа со спутниками**



**Макемаке – рисунки художников [astronet.ru](http://astronet.ru)**

Но, как оказалось, еще более интересным является строение пояса Койпера как целого, выявившееся при изучении составляющих его объектов. Этот пояс не такой плоский, как, скажем, кольца Сатурна, хотя тоже окружает Солнечную систему концентрическим кольцом. Орбиты тел, образующих пояс Койпера, не лежат в одной плоскости, а заполняют этакий "космический бублик", то есть некоторые объекты движутся вокруг Солнца почти в той же плоскости, что и обычные планеты, орбиты других наклонены к ней на добрых 20 градусов, а третьих — больше, чем на 30 градусов. Свойства объектов в каждой из групп тоже разные, и это позволило астрономам произвести их классификацию, которая, отражает различие в их происхождении.

Объекты первой группы, не очень "рвущиеся прочь" из плоскости обращения обычных планет, назвали "холодными кьюбианами", по названию первого из них, открытого в 1992 году и получившего номер 1992 QB-1, что по-английски звучало как "Кьюбиуан". Сюда входят такие "гиганты карликового мира", как третий после Эриды и Плутона FY-9 (Макемаке) и чуть меньший Кварвар.

Объекты третьей группы, высоко "подпрыгнувшие" над плоскостью обычных планет, как молекулы горячего пара над поверхностью воды, назвали "горячими кьюбианами". И те, и другие — "кьюбиуаны", потому что у них есть общее — даже самые вытянутые орбиты этих тел нигде не приближаются к орбите Нептуна, а всегда остаются внутри "бублика", на расстоянии 40—45 астрономических единиц от Солнца (Нептун находится от него на расстоянии почти 30 астрономических единиц).

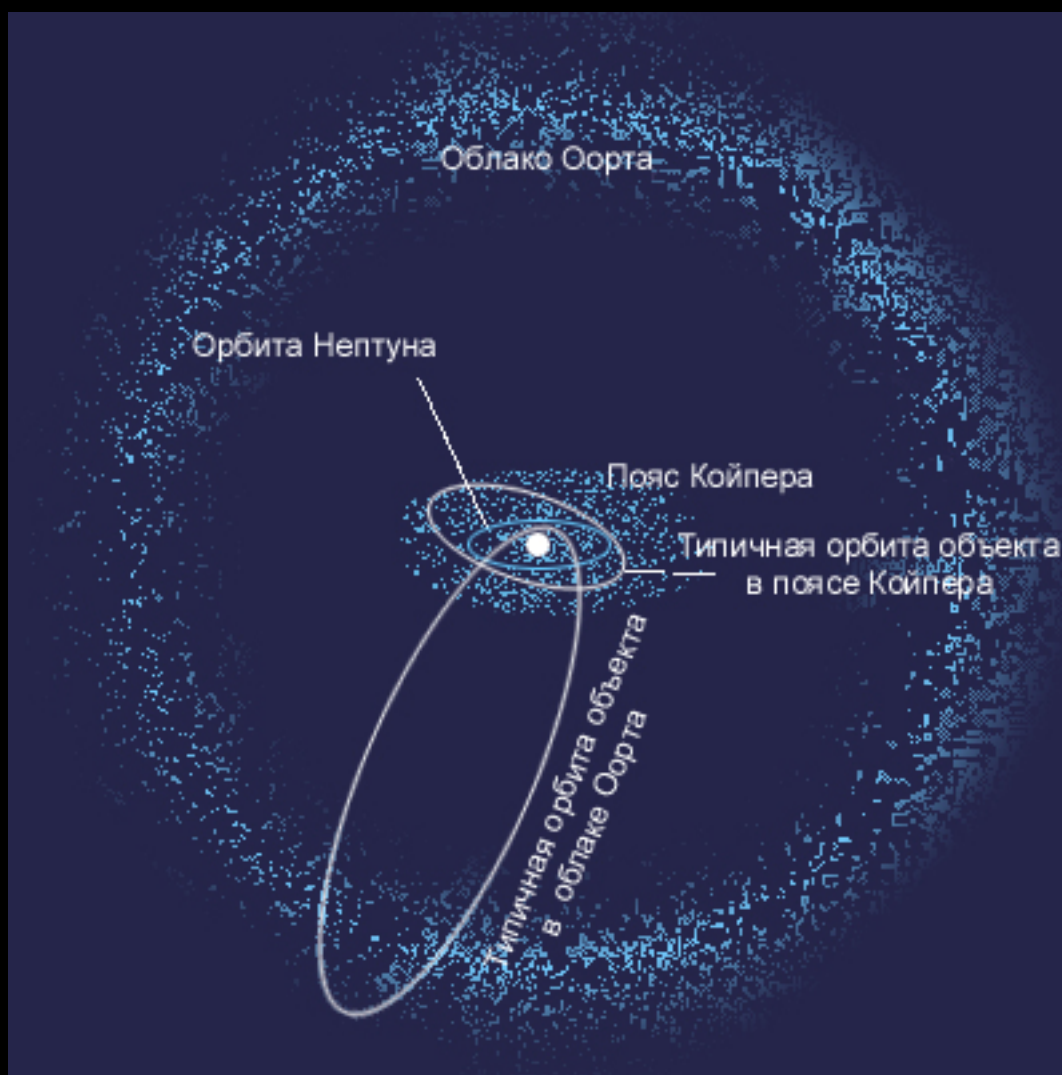


Зато объекты второй группы — их назвали "плутиносы" (или плутино), то есть, в переводе с итальянского, "маленькие плутончики", за сходство их орбит с плутоновской, — имеют такие вытянутые орбиты, что в ближайшей к Солнцу точке подходят к нему ближе Нептуна. У всех у них, включая сам Плутон, почти одинаковый период обращения — около 250 лет, и это значит, что они совершают 2 полных оборота вокруг Солнца за то время, что Нептун совершает три.

Это очень важное числовое совпадение. Оно имеет существенные физические последствия, потому что при таком соотношении периодов каждый плутинос раз в два своих "года" оказывается на том же самом расстоянии от Нептуна (у которого прошло точно три "года"). Такую ситуацию, когда два тела, после какого-то целого числа оборотов, снова оказываются в том же положении друг относительно друга, астрономы назвали "орбитальным резонансом". Резонансы могут быть и между большими планетами, и вообще между любыми двумя телами, причем с самыми разными последствиями.

Например, плутиносы, хотя и заходят внутрь орбиты Нептуна, никогда не приближаются к нему так близко, чтобы их орбиты сильно исказились, ибо резонанс 2 : 3 приводит к тому, что они всегда остаются на большом расстоянии от него. Но есть и такие "разрушительные" резонансы, которые нарушают устойчивость, и тогда орбита малой планетки после многих повторений резонанса искажается так, что та вообще уходит из пояса Койпера — либо прочь из Солнечной системы, либо, напротив, внутрь нее. В первом случае на месте ушедших транснептуновых объектов в поясе Койпера должна возникнуть пустая "щель". А во втором случае они должны появиться в Солнечной системе ближе Нептуна, и, как считают, именно таково происхождение так называемых Кентавров — ледяных небесных тел, чьи орбиты беспорядочно заполняют пространство между Нептуном и Юпитером.

Вернемся, однако, к поясу Койпера. Кьюбиуаны представляют собой основное население той его части, которую астрономы называют сегодня "классическим" поясом Койпера ("холодные" кьюбиуаны составляют при этом две трети этого населения, а "горячие" — одну треть). Пояс Койпера имеет две загадочные особенности. Во-первых, он не истончается постепенно, как можно было бы ожидать от остатков первичного газопылевого облака, из которого некогда образовалось Солнце и его планеты, а почему-то резко обрывается на расстоянии 50 астрономических единиц от Солнца, будто срезанный, так что дальше практически никаких объектов нет. А во-вторых, даже



**Пояс Койпера и окружающее его облако Оорта** college.ru

внутри пояса Койпера есть "пустоты", где число тел очень мало, то есть он похож, скорее, на разделенную щелями систему колец Сатурна, чем на сплошной пояс.

Вторую из этих особенностей можно объяснить резонансными взаимодействиями, и, действительно, эти щели в поясе Койпера находятся именно там, где орбиты оказываются в тех или иных "разрушительных" резонансах с Нептуном. Однако так можно объяснить только щели в поясе, но не полный его обрыв. Поэтому для обрыва предлагаются разные другие объяснения.

Например, исследователи Патрик Лукавка и Тадаси Мукаи из университета в Кобе считают, что обрыв пояса обусловлен наличием за ним, еще дальше от Нептуна (на расстоянии 60-90 астрономических единиц), невидимой планеты X, но не карликовой, а уже обычной, величиной с Марс или даже немного больше, которая в процессе образования Солнечной системы была вышвырнута на окраину и теперь вращается там по сильно эллиптической орбите. Всякая достаточно большая планета "подметает"



весь материал по обе стороны от своей орбиты, и та планета X, существование которой постулируют эти ученые, тоже могла "подмести" к себе все тела пояса Койпера, которые когда-то находились дальше 50 астрономических единиц. Невидимость же этой планеты X японские астрономы объясняют тем, что ее орбита перпендикулярна плоскости обращения остальных планет, что делает ее крайне трудной для обнаружения.

Разумеется, все это объяснение не является произвольным — за ним стоит длительный компьютерный расчет взаимодействий того или иного типа "планеты X" с телами на окраине пояса Койпера. На таком же методе компьютерного моделирования с выбором наилучшего варианта основаны также гипотезы другой группы исследователей — авторов и сторонников так называемой "модели Ниццы" во главе с А. Морбиделли, Х. Левисоном, Р. Гомесом и К. Циганисом.

"Модель Ниццы" родилась как попытка ответить на три нерешенных вопроса истории Солнечной системы: как возникли нынешние орбиты планет, каким образом у Юпитера появились его так называемые "Троянские спутники" и почему на ранних этапах существования Солнечной системы небольшие внутренние планеты подверглись внезапной и весьма интенсивной бомбардировкой огромными астероидами и метеоритами.

Все эти три вопроса авторы сумели объяснить, приняв, что большие планеты (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) поначалу образовались ближе к Солнцу, окруженные огромным облаком небесных тел разного размера, и лишь в результате взаимодействий друг с другом перемещались на привычные нам орбиты. Юпитер дрейфовал внутрь Солнечной системы, остальные — наружу. Расчеты показали, что на первом этапе планеты сдвигались плавно, но затем, когда Юпитер и Сатурн разошлись так, что оказались в резонансе 1 : 2, их воздействие на остальные планеты и астероиды стало необычайно разрушительным. В течение нескольких миллионов лет вся Солнечная система переживала период потрясений, и многие окраинные тела были сорваны со своих орбит и брошены, как бомбы, на малые внутренние планеты. На третьем этапе, по той же модели, большие планеты, продолжая взаимодействовать с оставшимися на окраине Солнечной системы телами, вышли на свои нынешние орбиты.

Как показали дальнейшие исследования, "модель Ниццы" тоже может на свой лад объяснить загадки пояса Койпера. По этой модели, протооблако, из которого образовалась Солнечная система, вначале кончилось на месте нынешнего Нептуна, в



30-35 астрономических единицах от Солнца. То место, где сейчас находится пояс Койпера, было пустым. Но когда Юпитер и Сатурн оказались в резонансе, значительная часть окраинных тел протооблака была заброшена еще дальше, до 50 астрономических единиц, а после того, как Сатурн вырвался из резонанса с Юпитером, эти тела там и остались, образовав пояс Койпера. В своей недавней работе авторы "модели Ниццы" показали, что при некоторых, вполне правдоподобных предположениях расчетная модель подтверждает, что пояс Койпера должен резко обрываться в 45-50 астрономических единицах от Солнца, как это и есть на самом деле.

Модель объясняет также появление главных групп тел пояса Койпера. Когда Нептун, выходя на свою нынешнюю орбиту, оказался рядом с только что возникшим поясом Койпера, он произвел возмущения в орбитах тамошних тел. Часть из них, находившаяся на орбитах, близких к резонансу 2 : 3 с Нептуном, постепенно перешла на устойчивые орбиты, точно соответствующие этому резонансу, — так появились плутиносы, включая и сам Плутон с Хароном. Другие же тела были вброшены внутрь Солнечной системы, образовав группу Кентавров, и некоторые из них снова попали в резонанс, только резонанс стабилизирующий (1 : 1), причем не только с Нептуном, но и с Юпитером, в результате чего стали Троянцами. На их месте в поясе Койпера возникли те пустоты, которые астрономы наблюдают сегодня. Наконец, не претерпели

<b>Название</b>	<b>Экваториальный диаметр</b>	<b>Период обращения вокруг</b>
	<b>(км)</b>	<b>Солнца (лет)</b>
<b>Эрида</b>	<b>2600</b>	<b>559</b>
<b>Плутон</b>	<b>2390</b>	<b>248</b>
<b>Макемаке</b>	<b>1500</b>	<b>307</b>
<b>Хаумеа</b>	<b>~1500</b>	<b>284</b>
<b>Седна</b>	<b>1180-1800</b>	<b>10800</b>
<b>Харон 9</b>	<b>1207±3</b>	<b>248</b>
<b>Кварвар</b>	<b>~1100</b>	<b>288</b>
<b>Орк</b>	<b>946.3</b>	<b>246</b>
<b>2002AW<sub>197</sub></b>	<b>940</b>	<b>323</b>
<b>Варуна</b>	<b>874</b>	<b>280</b>
<b>Иксион</b>	<b>&lt; 822</b>	<b>250</b>
<b>2002UX<sub>25</sub></b>	<b>681</b>	<b>278</b>

изменений орбиты тех тел, которые не были ни в каком резонансе, — они создали группу кьюбианов.

Расчеты показывают также, что некоторые из тел первичного пояса Койпера, очевидно, были выброшены ("рассеяны") не внутрь Солнечной системы, а наружу. И действительно, такие тела нашлись. Они образуют особую группу "рассеянных", типичным представителем которых является Эрида, имеющая такую вытянутую орбиту, что она лишь частично остается в поясе Койпера: в перигелии она отстоит от Солнца на 38 астрономических единиц, в афелии почти на 100 астрономических единиц, что вдвое дальше внешней границы пояса Койпера. Впрочем, орбиты Эриды и ей подобных отличаются еще и тем, что они почти "вертикальны", то есть лежат в плоскости, перпендикулярной плоскости обращения планет. Судя по всему, дальнейшая судьба этих тел — быть полностью выброшенными не только из пояса Койпера, но, возможно, из Солнечной системы вообще.

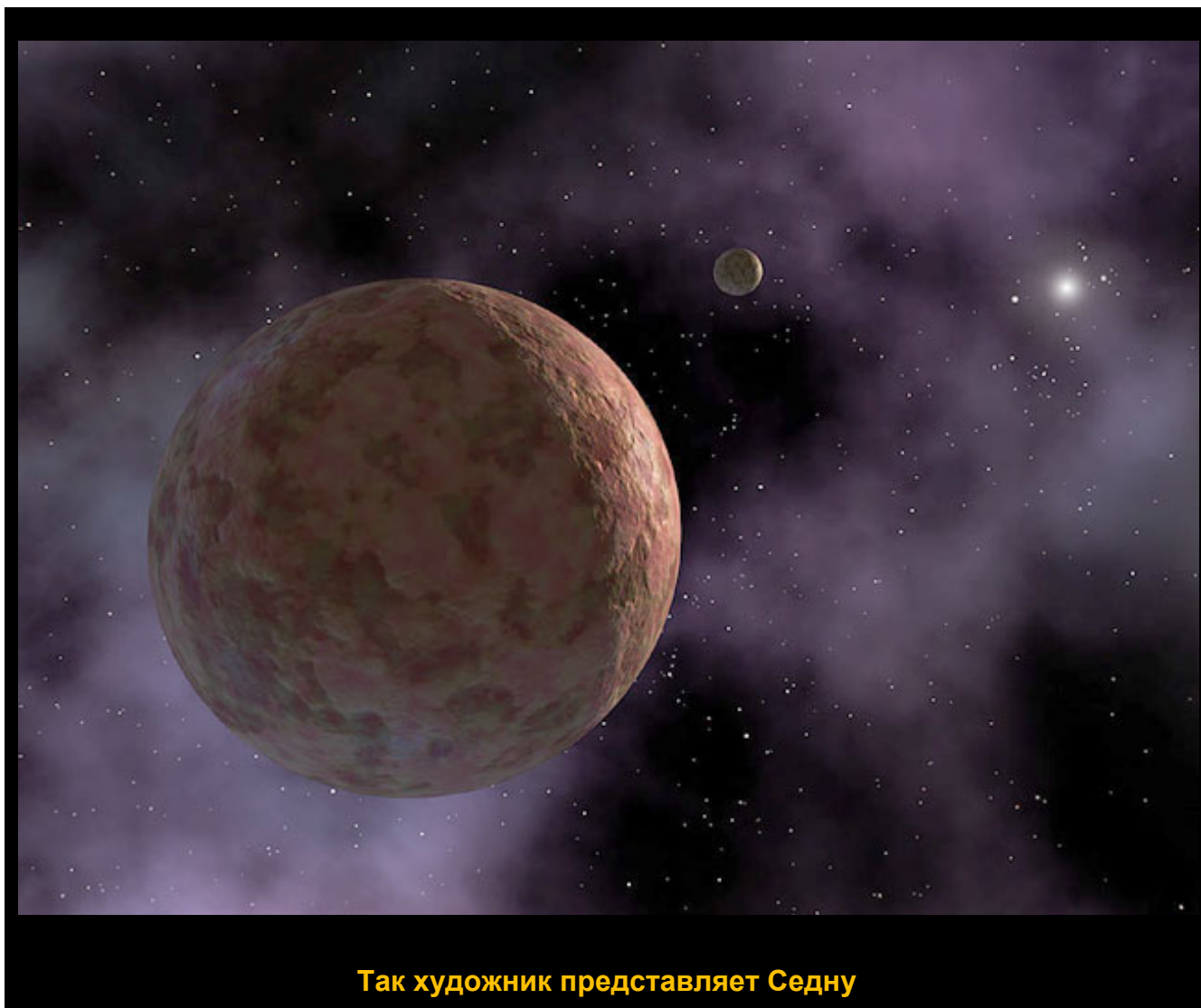


**Эрида** рис. Тьерри Ломбри

**В пикировке двух звезд рождается Седна?**

Ну, а последнюю главу в нашей "повести о поясе Койпера" следует, конечно, отвести Седне. Этот уникальный транснептуновый объект, обнаруженный в 2003 году Майклом Брауном и его коллегами, даже в перигелии (76 астрономических единиц) не входит в пояс Койпера, а уж в афелии вообще удаляется от Солнца на 978 астрономических единиц, и таким образом его полный оборот занимает 11 тысяч лет! Седна вечно находится в глубинах ледяной космической ночи, что соответствует ее названию — Седной эскимосы называют богиню холодного моря. Хорошо, что она сейчас находится почти в перигелии, иначе ее вряд ли бы заметили. Ее относят сегодня к особой группе "далеко рассеянных" или, иначе, "отделенных" (от пояса Койпера) объектов. Происхождение их совершенно не ясно, и на сей счет имеется лишь несколько впечатляющих гипотез.

По расчетам Левисона и Морбиделли, орбиты этих тел так странно вытянулись в результате воздействия звезды, прошедшей вблизи Солнца (на расстоянии 800 астрономических единиц) "на заре туманной юности" — в первые 100 миллионов лет



**Так художник представляет Седну**



**С поверхности Седны Солнце выглядит как яркая звезда** изображения nasa

его существования. Менее вероятный, но зато лучше объясняющий орбиту Седны сценарий говорит, что она была вырвана Солнцем у проходившего мимо бурого карлика (в 20 раз меньшего, чем Солнце), спутником которого она была.

Р. Гомес, наоборот, полагает, что Седну притягивает к себе крупная планета, возможно, прячущаяся в так называемом облаке Оорта, окружающем Солнечную систему на расстоянии 50 — 100 тысяч астрономических единиц или еще ближе (оттуда приходят те долгопериодические кометы, которые время от времени вторгаются внутрь Солнечной системы). По расчетам Гомеса, скрытая планета с массой Юпитера могла бы это сделать, будь она на расстоянии 50 тысяч астрономических единиц, планета с массой Нептуна — с расстояния 2000 астрономических единиц, а планета с массой Земли — даже с расстояния в 1000 астрономических единиц.

Развивая эту мысль, Лукавка и Мукаи, назвали виновником перехода Седны на ее нынешнюю орбиту планету еще меньших размеров, расположенную еще ближе к Солнцу, — пресловутую планету X.

Как признают астрономы, "Седна сразу же заняла место "планеты-изгоя", ранее принадлежавшее Плутону. Ее сильно вытянутая орбита нарушала устоявшиеся представления о Солнечной системе".



Орбита Седны, несомненно, была изначально круговой. Ее не могли трансформировать ни маленький Плутон, ни огромный Нептун, поскольку они находились слишком далеко. В таком случае, почему бы не объяснить изменение этой орбиты некими внешними факторами, игрой космических сил, действующих за пределами Солнечной системы?

По расчетам американских астрономов Скотта Кениона и Бенджамина Бромли, более четырех миллиардов лет назад Солнце сблизилось с некой звездой, тоже окруженной вереницей планет. Расстояние между ними составило всего 150-200 астрономических единиц. На периферии обеих планетных систем, на расстояниях свыше 50 астрономических единиц от материнской звезды, очевидно, все перемешалось во время этого рандеву. Возможно, чужая звезда увлекла за собой некоторые наиболее крупные объекты, находившиеся на окраине Солнечной системы, поэтому Седна так удалилась от Солнца. Если бы обе звезды подошли еще ближе друг к другу, то и Нептун изменил бы свою орбиту и вместо круга описывал бы эллипс.

Но есть и другая, прямо противоположная гипотеза. Возможно, Седна первоначально обращалась вокруг чужой звезды и затем покинула ее. Вероятность этого события составляет 10 процентов. Вместе с ней из "космической тьмы" на сторону Солнца могли переметнуться от нескольких тысяч до нескольких миллионов небесных тел, которым был уготован "плен". В таком случае на периферии Солнечной системы находится вещество другой звездной системы. Зачастую орбиты этих новых спутников Солнца наклонены к центральной плоскости Солнечной системы под очень большими углами, превышающими 40 градусов.

В настоящее время в радиусе четырех световых лет от Солнца нет ни одной звезды, однако около четырех с половиной миллиардов лет назад все могло обстоять иначе. Ведь новые светила чаще всего рождаются целыми группами из сотен и даже тысяч звезд.

Знание-Сила





Поверхность Плутона по данным моделирования [wikimedia.org](http://wikimedia.org)



Плутон и Харон наблюдаемые с поверхности одного из маленьких спутников Плутона

автор: David Aguilar