

The background of the book cover is a deep black space filled with a complex, glowing blue and white web of filaments, representing the cosmic web or large-scale structure of the universe. These filaments are interconnected and form a star-like pattern in the center. Scattered throughout the background are numerous small, bright yellow and white dots, which represent distant galaxies or stars.

STEPHEN  
HAWKING

and LEONARD MLODINOW

THE  
GRAND  
DESIGN

STEPHEN  
HAWKING

and LEONARD MLODINOW

THE  
GRAND  
DESIGN

ТАКЖЕ ОТ СТИВЕНА ХОКИНГА

*Краткая История Времени*  
*Кратчайшая История Времени*  
*Чёрные Дыры и молодые Вселенные и Другие*  
*Эссе*  
*Иллюстрированная Краткая История Времени*  
*Мир в Ореховой Скорлупке*

ДЛЯ ДЕТЕЙ

*Секретный Ключ Джорджа от Вселенной (с Люси Хокинг)*  
*Джордж в Поисках Космических Сокровищ (с Люси Хокинг)*

ТАКЖЕ ОТ ЛЕОНАРДА МЛОДИНОВА

*Кратчайшая История Времени*  
*Прогулка Дранкарда: Как Случайность Управляет*  
*Нашими Жизнями*  
*Окно Евклида: История Геометрии от*  
*Параллельных Линий до Гиперпространства*  
*Радуга Фейнмана: Поиск Прекрасного в*

ALSO BY STEPHEN HAWKING

*A Brief History of Time*  
*A Briefer History of Time*  
*Black Holes and Baby Universes and Other*  
*Essays*  
*The Illustrated A Brief History of Time*  
*The Universe in a Nutshell*

FOR CHILDREN

*George's Secret Key to the Universe (with Lucy Hawking)*  
*George's Cosmic Treasure Hunt (with Lucy Hawking)*

ALSO BY LEONARD MLODINOW

*A Briefer History of Time*  
*The Drunkard's Walk: How Randomness Rules*  
*Our Lives*  
*Euclid's Window: The Story of Geometry from*  
*Parallel Lines to Hyperspace*  
*Feynman's Rainbow: A Search for Beauty in*

*Физике и в Жизни*

ДЛЯ ДЕТЕЙ

*Последний Динозавр* (с Мэттом Костелло)

*Титаник Кот* (с Мэттом Костелло)

*Physics and in Life*

FOR CHILDREN

*The Last Dinosaur* (with Matt Costello)

*Titanic Cat* (with Matt Costello)

ВЕЛИКИЙ ЗАМЫСЕЛ

THE GRAND DESIGN





# ВЕЛИКИЙ ЗАМЫСЕЛ



СТИВЕН ХОКИНГ  
и ЛЕОНАРД МЛОДИНОВ

# THE GRAND DESIGN



STEPHEN HAWKING  
AND LEONARD MLODINOW



Irina73 & DrSerg1979  
free release



BANTAM BOOKS  
NEW YORK

Все права принадлежат Стивену Хокингу и  
Леонарду Млодинову  
Оригинальное оформление Питера Боллинджера

Все права защищены.

Опубликовано в США издательством Bantam Books,  
напечатано The Random House Publishing  
Group, подразделением Random House, Inc., New  
York.

Рисунки Сиднея Харриса  
[Sciencecartoonplus.com](http://Sciencecartoonplus.com)

BANTAM BOOKS и the rooster colophon являются  
торговыми марками Random House, Inc.

Copyright © 2010 by Stephen W. Hawking and  
Leonard Mlodinow  
Original art copyright © 2010 by Peter Bollinger

All rights reserved.

Published in the United States by Bantam Books,  
an imprint of The Random House Publishing  
Group, a division of Random House, Inc., New  
York.

Cartoons by Sidney Harris, copyright ©  
[Sciencecartoonsplus.com](http://Sciencecartoonsplus.com)

BANTAM BOOKS and the rooster colophon are  
registered trademarks of Random House, Inc.

Переведено <http://notabenoid.com/>

eISBN: 978-0-553-90707-0



[www.bantamdell.com](http://www.bantamdell.com)

v3.0

Переводчики:

[cosinus](#), [lwiil](#), [Edgewalker](#) (модератор), [Irina73](#)  
(главный), [aleva](#), [kasir](#), [die\\_m](#), [justafake](#) (модератор),  
[anne\\_bale](#), [mslasm](#), [KVP1248](#), [Alien\\_Girl](#) (модератор),  
[icori](#), [Kotische](#), [grooz](#), [bloshkyn](#), [morozoffnick](#)  
(модератор), [CyberTm](#), [lem](#), [Dasha1234](#), [AterLux](#),  
[mea\\_john](#) (модератор), [uraveselov](#) (модератор), [ingersol](#),  
[antilia](#), [Beata](#), [Zlae4ka](#), [CrabGaze](#), [veste](#), [anton13666](#),  
[vitema](#), [mulheres](#), [Tehhy](#), [SweetCat](#)

Редактирование, вёрстка, оформление и релиз:

[DrSerg1979](#)

v1.0

ДЛЯ НЕКОММЕРЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ!

## СОДЕРЖАНИЕ

- 1 • Тайна Бытия
- 2 • Власть Закона
- 3 • Что Есть Реальность?
- 4 • Альтернативные Истории
- 5 • Теория Всего
- 6 • Выбирая Нашу Вселенную
- 7 • Несомненное Чудо
- 8 • Великий Замысел

## CONTENTS

- 1 • The Mystery of Being
- 2 • The Rule of Law
- 3 • What Is Reality?
- 4 • Alternative Histories
- 5 • The Theory of Everything
- 6 • Choosing Our Universe
- 7 • The Apparent Miracle
- 8 • The Grand Design

*Глоссарий*

*Glossary*

*Благодарности*

*Acknowledgments*

*Алфавитный указатель*

*Index*





1



ТАЙНА БЫТИЯ

1



THE MYSTERY OF BEING

**В**СЕ МЫ СУЩЕСТВУЕМ ЛИШЬ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ и на его протяжении способны исследовать лишь небольшую часть мироздания. Но люди - существа любопытные. Мы задаемся вопросами, мы ищем на них ответы. Живя в этом огромном мире, который бывает то добрым, то жестоким, и вглядываясь в бесконечное небо, люди постоянно задаются множеством вопросов: Как мы можем понять мир, в котором оказались? Как ведёт себя Вселенная? Какова природа реальности? Откуда всё это возникло? Нуждалась ли Вселенная в создателе? Многие из нас не тратят много времени на эти вопросы, но почти все из нас когда-либо об этом задумывались.

Традиционно это философские вопросы, но философия мертва. Она отстала от современной науки, особенно физики. Теперь ученые приняли эстафету первооткрывателей в нашем поиске знаний. Цель этой книги - дать ответы, которые предлагают недавние открытия и достижения в теоретических исследованиях. Они подводят нас к новой картине Вселенной и нашего места в ней,

**W**E EACH EXIST FOR BUT A SHORT TIME, and in that time explore but a small part of the whole universe. But humans are a curious species. We wonder, we seek answers. Living in this vast world that is by turns kind and cruel, and gazing at the immense heavens above, people have always asked a multitude of questions: How can we understand the world in which we find ourselves? How does the universe behave? What is the nature of reality? Where did all this come from? Did the universe need a creator? Most of us do not spend most of our time worrying about these questions, but almost all of us worry about them some of the time.

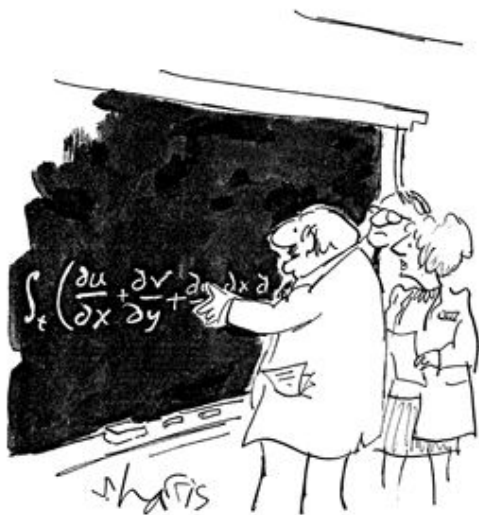
Traditionally these are questions for philosophy, but philosophy is dead. Philosophy has not kept up with modern developments in science, particularly physics. Scientists have become the bearers of the torch of discovery in our quest for knowledge. The purpose of this book is to give the answers that are suggested by recent discoveries and theoretical advances. They lead us to a new picture of the universe and our place in it

отличной от традиционной и даже той картины, которую мы могли нарисовать всего лишь десятилетие или два назад. Однако первые наброски новой концепции можно отследить почти столетие назад.

Согласно традиционным представлениям о Вселенной, объекты перемещаются по четко определённым траекториям и имеют определённые предыстории. Мы можем определить их точное положение в любой момент времени. Хотя этот подход был успешным для повседневных задач, в 1920-х было установлено, что эти "классические" представления не могут объяснить, казалось бы, странное поведение, наблюдаемое на атомном и субатомном масштабах бытия. Вместо них было необходимо принять другую концептуальную модель, названную квантовой физикой. Квантовые теории оказались удивительно точными в предсказании событий на этих масштабах, а также в повторении предсказаний старых классических теорий применительно к макроскопическим миру повседневной жизни. Но квантовая и классическая физика основаны на очень различных концепциях физической реальности.

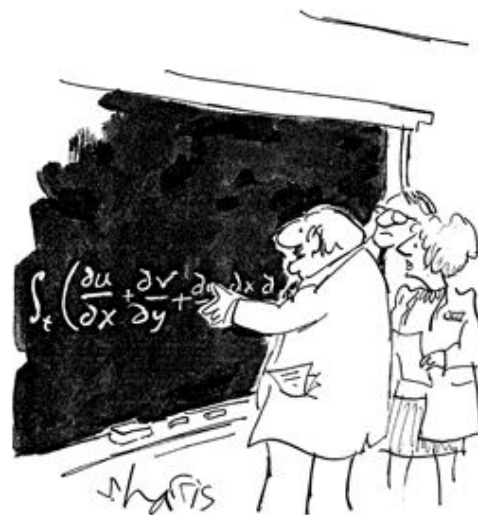
that is very different from the traditional one, and different even from the picture we might have painted just a decade or two ago. Still, the first sketches of the new concept can be traced back almost a century.

According to the traditional conception of the universe, objects move on well-defined paths and have definite histories. We can specify their precise position at each moment in time. Although that account is successful enough for everyday purposes, it was found in the 1920s that this "classical" picture could not account for the seemingly bizarre behavior observed on the atomic and subatomic scales of existence. Instead it was necessary to adopt a different framework, called quantum physics. Quantum theories have turned out to be remarkably accurate at predicting events on those scales, while also reproducing the predictions of the old classical theories when applied to the macroscopic world of daily life. But quantum and classical physics are based on very different conceptions of physical reality.



“... И это моя философия.”

Квантовые теории можно сформулировать по-разному, но, наверное, наиболее интуитивное определение было дано Ричардом (Диком) Фейнманом, колоритным персонажем, который работал в Калифорнийском Технологическом университете и играл на барабанах «бонго» в придорожном стриптиз-клубе. Согласно Фейнману, система имеет не только какую-то одну историю, но все возможные истории. В процессе поиска наших ответов мы детально разъясним Фейнмановский подход



“... And that is my philosophy.”

Quantum theories can be formulated in many different ways, but what is probably the most intuitive description was given by Richard (Dick) Feynman, a colorful character who worked at the California Institute of Technology and played the bongo drums at a strip joint down the road. According to Feynman, a system has not just one history but every possible history. As we seek our answers, we will explain Feynman’s approach in

и используем его, чтобы рассмотреть идею о том, что сама Вселенная не имеет не только одной истории, но даже свободного бытия. Эта идея кажется радикальной даже для многих физиков. Несомненно, как и множество точек зрения в современной науке, эта выглядит нарушающей всякий здравый смысл. Однако, здравый смысл основан на повседневном опыте, а не на проявлениях Вселенной посредством чудес технологий, подобных тем, что позволяют устремить взор в глубины атома или охватить им Вселенную целиком.

До появления современной физики было принято думать, что все знания мира могут быть получены путём непосредственного наблюдения, что вещи являются такими, какими выглядят и воспринимаются нашими органами чувств. Но волнующий успех современной физики, базирующейся на концепциях, подобных Фейнмановской, вступающей в противоречия с повседневным опытом, продемонстрировал, что это не так. Наивный взгляд на реальность, таким образом, не сочетается с современной физикой. Чтобы разрешить подобные парадоксы, нам следует применить подход, который мы называем модельно-зависимым реализмом. В его основе лежит идея, что наш мозг интерпретирует исходные данные, получаемые нашими органами чувств, посредством построения модели окружающего мира. Когда подобная модель

detail, and employ it to explore the idea that the universe itself has no single history, nor even an independent existence. That seems like a radical idea, even to many physicists. Indeed, like many notions in today's science, it appears to violate common sense. But common sense is based upon everyday experience, not upon the universe as it is revealed through the marvels of technologies such as those that allow us to gaze deep into the atom or back to the early universe.

Until the advent of modern physics it was generally thought that all knowledge of the world could be obtained through direct observation, that things are what they seem, as perceived through our senses. But the spectacular success of modern physics, which is based upon concepts such as Feynman's that clash with everyday experience, has shown that that is not the case. The naive view of reality therefore is not compatible with modern physics. To deal with such paradoxes we shall adopt an approach that we call model-dependent realism. It is based on the idea that our brains interpret the input from our sensory organs by making a model of the world. When such a model



позволяет успешно объяснить те или иные события, мы стремимся приписать ей, равно как и составляющим её элементам и концепциям, качество реальности или абсолютной истины. Но возможно существование различных способов, когда можно смоделировать такую же физическую ситуацию, но с использованием отличных фундаментальных составляющих и концепций. Если две такие физические теории или модели с достаточной степенью точности позволяют предсказать одни и те же события, одна из них не может считаться более реальной, нежели другая; более того, мы вольны использовать ту модель, которую сочтём наиболее подходящей.

В истории науки мы обнаруживаем последовательность совершенствующихся теорий или моделей, от Платона к классической теории Ньютона и далее к современным квантовым теориям. Возникает естественный вопрос: Достигнет ли эта последовательность конечной точки, сформировав абсолютную теорию Вселенной, включающую все силы и предсказывающую каждое наблюдение, которое мы сможем сделать, или же мы будем вечно продолжать открывать всё лучшие теории, так и не найдя ту, что не подлежит дальнейшему улучшению? Определённого ответа на этот вопрос у нас пока нет, однако есть кандидат на абсолютную теорию всего, если таковая в самом деле существует, и называется он М-теория. М-теория это

is successful at explaining events, we tend to attribute to it, and to the elements and concepts that constitute it, the quality of reality or absolute truth. But there may be different ways in which one could model the same physical situation, with each employing different fundamental elements and concepts. If two such physical theories or models accurately predict the same events, one cannot be said to be more real than the other; rather, we are free to use whichever model is most convenient.

In the history of science we have discovered a sequence of better and better theories or models, from Plato to the classical theory of Newton to modern quantum theories. It is natural to ask: Will this sequence eventually reach an end point, an ultimate theory of the universe, that will include all forces and predict every observation we can make, or will we continue forever finding better theories, but never one that cannot be improved upon? We do not yet have a definitive answer to this question, but we now have a candidate for the ultimate theory of everything, if indeed one exists, called M-theory. M-theory is

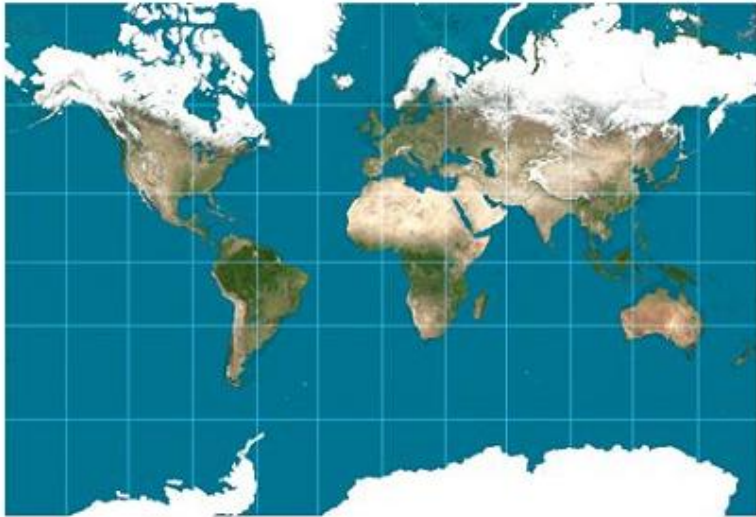
единственная модель, обладающая всеми качествами, которые, по нашему мнению, должна иметь окончательная теория и это та теория, на которой основаны многие наши дальнейшие рассуждения.

М-теория не является теорией в обычном смысле этого слова. Это целое семейство различных теорий, каждая из которых способна описывать результаты наблюдений только в границах конкретных физических ситуаций. Это чем-то похоже на карту. Общеизвестно, что нельзя показать земную поверхность целиком на единственной карте. Обычная Меркаторская проекция, используемая для составления карт мира, заставляет области казаться все более крупными ближе к северу и югу и не распространяется на Северный и Южный полюсы. Чтобы получить точную карту всей земной поверхности, необходимо использовать набор карт, каждая из которых покрывает ограниченную область. Карты частично покрывают друг друга и в местах, где это происходит, они демонстрируют одинаковый ландшафт. М-теория подобна. Различные теории, составляющие семейство М-теории, могут выглядеть весьма несхожими, но все они могут рассматриваться как аспекты одной основной теории. Они являются версиями теории, применимыми только в ограниченных рамках - например, когда определённые величины, такие как энергия, малы. Подобно наложению карт в Меркаторовской проекции, там, где рамки

the only model that has all the properties we think the final theory ought to have, and it is the theory upon which much of our later discussion is based.

M-theory is not a theory in the usual sense. It is a whole family of different theories, each of which is a good description of observations only in some range of physical situations. It is a bit like a map. As is well known, one cannot show the whole of the earth's surface on a single map. The usual Mercator projection used for maps of the world makes areas appear larger and larger in the far north and south and doesn't cover the North and South Poles. To faithfully map the entire earth, one has to use a collection of maps, each of which covers a limited region. The maps overlap each other, and where they do, they show the same landscape. M-theory is similar. The different theories in the M-theory family may look very different, but they can all be regarded as aspects of the same underlying theory. They are versions of the theory that are applicable only in limited ranges—for example, when certain quantities such as energy are small. Like the overlapping maps in a Mercator projection, where the ranges of

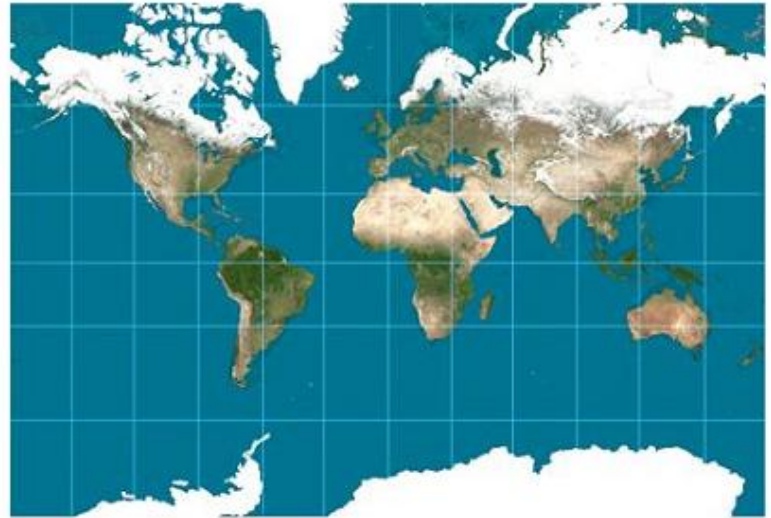
различных версий накладываются друг на друга, они предсказывают то же самое явление. Но как не существует плоской карты, содержащей качественное представление земной поверхности целиком, так и не существует единственной теории, содержащей качественное представление результатов наблюдений для всех ситуаций.



**Мировая Карта.** Может потребоваться ряд перекрывающихся теорий для описания Вселенной, как требуются перекрывающиеся карты для представления Земли.

Мы опишем, как М-теория может предложить ответы на вопросы сотворения мира. Согласно М-теории, наша Вселенная не является единственной в своём роде. Напротив,

different versions overlap, they predict the same phenomena. But just as there is no flat map that is a good representation of the earth's entire surface, there is no single theory that is a good representation of observations in all situations.



**World Map** It may require a series of overlapping theories to represent the universe, just as it requires overlapping maps to represent the earth.

We will describe how M-theory may offer answers to the question of creation. According to M-theory, ours is not the only universe. Instead,



М-теория предсказывает существование огромного множества вселенных, созданных буквально из ничего. Их создание не требовало вмешательства какого-либо сверхъестественного существа или Бога. Скорее, эти множественные вселенные возникли естественным образом, как следствие физических законов. Они являются научным предположением. Каждая Вселенная имеет множество предысторий и множество возможных будущих состояний, то есть времена подобные настоящему, спустя долгий срок после их возникновения. Большинство из этих состояний будут значительно отличаться от условий той Вселенной, которую мы можем наблюдать, а также будут слабо подходить для существования любой формы жизни. Только малая часть из них позволит созданиям, подобным нам, существовать. Таким образом, наше присутствие выбирает из этого огромного массива только те вселенные, которые совместимы с условиями нашего существования. Это даёт нам ощущение себя как венцов творения, хотя мы слабы и незначительны.

Чтобы понять поведение Вселенной на самом глубоком уровне, нам необходимо понять не только как ведёт себя Вселенная, но и *почему*.

*Почему что-либо присутствует, вместо того, чтобы отсутствовать?*

*Почему мы существуем?*

*Почему имеет место именно такой набор законов, а не какой-либо*

M-theory predicts that a great many universes were created out of nothing. Their creation does not require the intervention of some supernatural being or god. Rather, these multiple universes arise naturally from physical law. They are a prediction of science. Each universe has many possible histories and many possible states at later times, that is, at times like the present, long after their creation. Most of these states will be quite unlike the universe we observe and quite unsuitable for the existence of any form of life. Only a very few would allow creatures like us to exist. Thus our presence selects out from this vast array only those universes that are compatible with our existence. Although we are puny and insignificant on the scale of the cosmos, this makes us in a sense the lords of creation.

To understand the universe at the deepest level, we need to know not only *how* the universe behaves, but *why*.

*Why is there something rather than nothing?*

*Why do we exist?*

*Why this particular set of laws and not some*

*иной?*

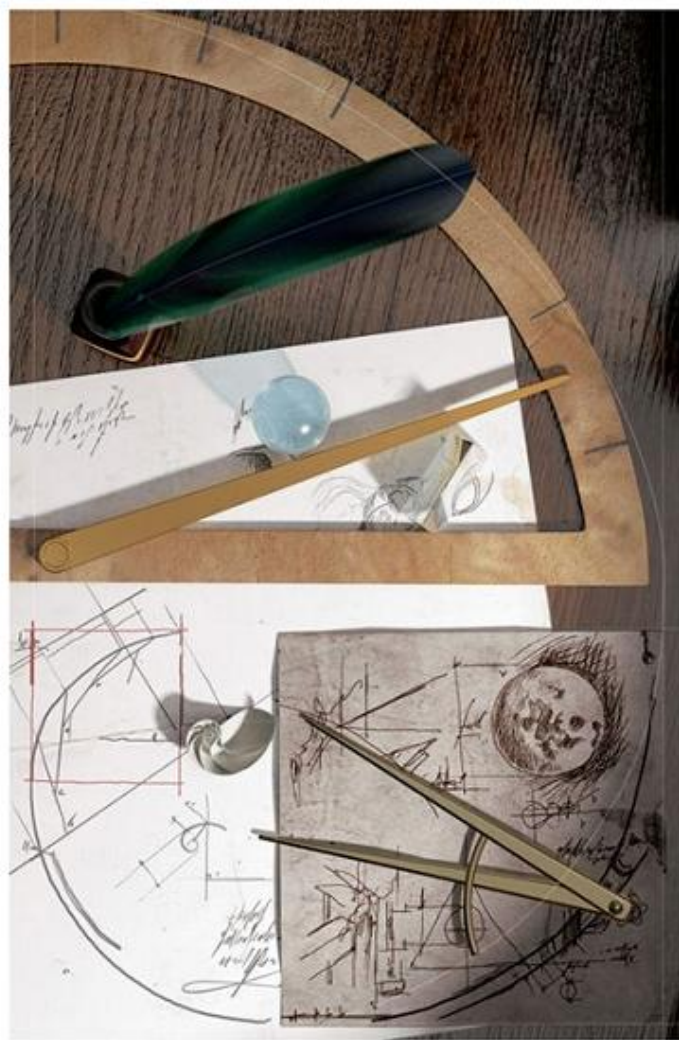
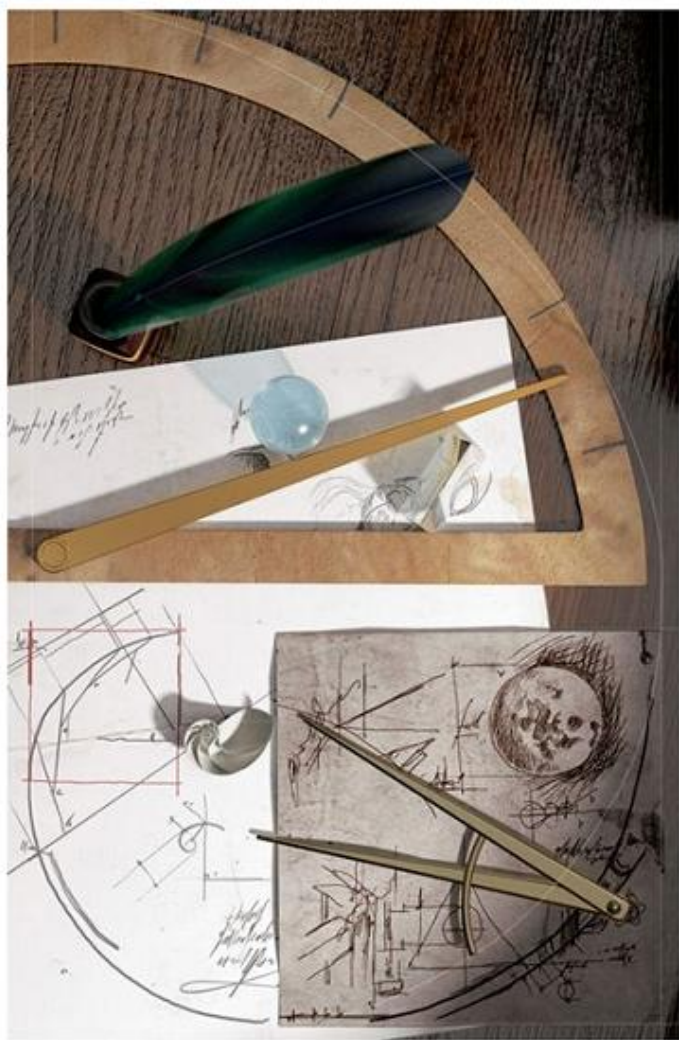
Это и есть Абсолютный Вопрос Жизни, Вселенной и Всего. Мы должны попытаться дать на него ответ в этой книге. И в отличие от ответа, данного в книге *"Автостопом по Галактике"*, наш не будет являть собой число 42.

*other?*

This is the Ultimate Question of Life, the Universe, and Everything. We shall attempt to answer it in this book. Unlike the answer given in *The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*, ours won't be simply "42."







2



ВЛАСТЬ ЗАКОНА

2



THE RULE OF LAW

*Сколль, волк, который должен пугать Луну, пока она летит к Древу Скорби*

*Хати, волк из рода Хродвитнира, который должен преследовать Солнце.*

РЕЧИ ГРИМНИРА, *Старшая Эдда*

**В** МИФОЛОГИИ ВИКИНГОВ Сколль и Хати

преследуют Солнце и Луну. Когда хотя бы один из волков ловит свою добычу, происходит затмение. Когда подобное случается, люди на Земле спешат освободить Солнце или Луну, производя как можно больше шума в надежде испугать волков. Похожие мифы существуют и в других культурах. Но по прошествии времени люди, должно быть, заметили, что Луна и Солнце вскоре выходят из состояния затмения, безотносительно к тому, бегают ли они с криками или пляшут с бубнами. Спустя какое-то время они должны были также заметить, что затмения не происходят случайным образом, в их появлении имели место повторяющиеся закономерности. Наиболее очевидными подобные закономерности были для лунных затмений, что позволило древним вавилонянам предсказывать их достаточно

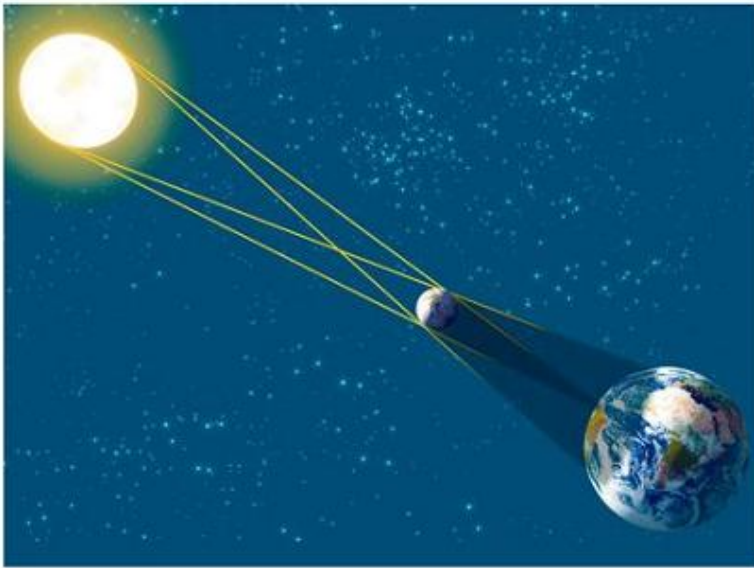
*Skoll the wolf who shall scare the Moon  
Till he flies to the Wood-of-Woe:*

*Hati the wolf, Hridvitnir's kin,  
Who shall pursue the sun.*

—“GRIMNISMAL,” *The Elder Edda*

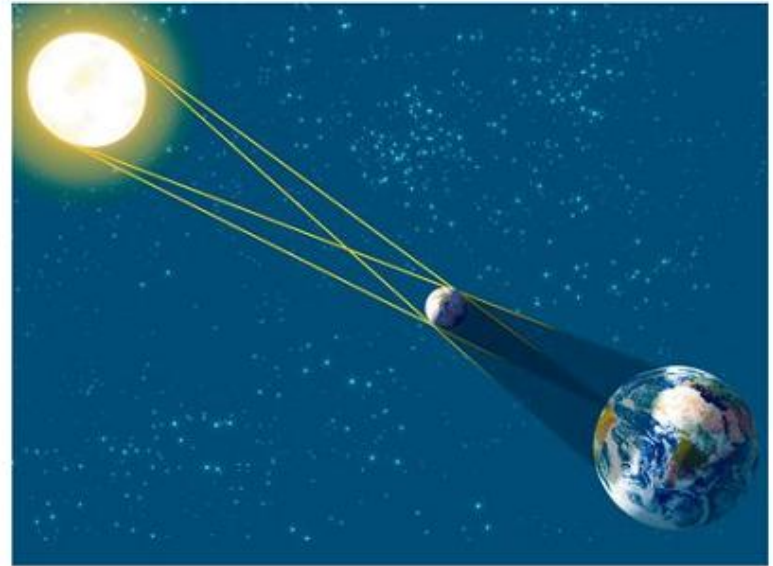
**I**N VIKING MYTHOLOGY, Skoll and Hati chase the sun and the moon. When the wolves catch either one, there is an eclipse. When this happens, the people on earth rush to rescue the sun or moon by making as much noise as they can in hopes of scaring off the wolves. There are similar myths in other cultures. But after a time people must have noticed that the sun and moon soon emerged from the eclipse regardless of whether they ran around screaming and banging on things. After a time they must also have noticed that the eclipses didn't just happen at random: They occurred in regular patterns that repeated themselves. These patterns were most obvious for eclipses of the moon and enabled the ancient Babylonians to predict lunar eclipses fairly

точно, хотя они и не осознавали, что причиной лунных затмений была Земля, преграждающая путь лучам Солнца. Солнечные затмения было сложнее предсказать, поскольку их можно было видеть, только находясь на Земле в границах коридора шириной около 30 миль. Тем не менее, будучи однажды подмеченными, эти закономерности сделали понятным тот факт, что затмения не зависели от своеобразных капризов сверхъестественных существ, а скорее подчинялись неким законам.



**Затмение.** Древние не знали, что вызывает затмения, но они замечали закономерности в их возникновении.

accurately even though they didn't realize that they were caused by the earth blocking the light of the sun. Eclipses of the sun were more difficult to predict because they are visible only in a corridor on the earth about 30 miles wide. Still, once grasped, the patterns made it clear the eclipses were not dependent on the arbitrary whims of supernatural beings, but rather governed by laws.



**Eclipse** The ancients didn't know what caused eclipses, but they did notice patterns in their occurrence.

Не смотря на некоторые ранние успехи в предсказании движения небесных тел, наши предки считали, что большинство природных явлений невозможно предсказать. Вулканические извержения, землетрясения, штормы, эпидемии, а также вросшие ногти - всё это, казалось, случается без очевидных причин или закономерностей. В древние времена считалось естественным приписывать причины неистовства природы пантеону злых или недоброжелательных богов. Бедствия часто воспринимались как знак того, что мы чем-то прогневали богов. Например, около 5600 лет до нашей эры, извергся вулкан горы Мазама в Орегоне, выбрасывая камни и горящий пепел годами, повлекший многолетние дожди, заполнившие в итоге вулканический кратер, называющийся сейчас Озеро Кратер. У орегонских индейцев племени Кламат есть легенда, в которой описаны данные события, вплоть до геологических деталей, однако с добавлением драматических элементов, выставляющих человека виновником данной катастрофы. Способность человека чувствовать вину такова, что люди всегда изыскивают способы обвинить себя. Как гласит легенда, Лао, вождь Нижнего Мира, влюбился в красивую человеческую девушку, дочь

Despite some early success predicting the motion of celestial bodies, most events in nature appeared to our ancestors to be impossible to predict. Volcanoes, earthquakes, storms, pestilences, and ingrown toenails all seemed to occur without obvious cause or pattern. In ancient times it was natural to ascribe the violent acts of nature to a pantheon of mischievous or malevolent deities. Calamities were often taken as a sign that we had somehow offended the gods. For example, in about 5600 BC the Mount Mazama volcano in Oregon erupted, raining rock and burning ash for years, and leading to the many years of rainfall that eventually filled the volcanic crater today called Crater Lake. The Klamath Indians of Oregon have a legend that faithfully matches every geologic detail of the event but adds a bit of drama by portraying a human as the cause of the catastrophe. The human capacity for guilt is such that people can always find ways to blame themselves. As the legend goes, Llaol, the chief of the Below World, falls in love with the beautiful human daughter of



вождя племени Клатат. Она отвергла его, и в отместку Лао попытался с помощью огня уничтожить племя Клатат. К счастью, согласно легенде, Склл, вождь Верхнего Мира, пожалел людей и вступил в битву со своим подземным оппонентом. В конечном счете, израненный Лао упал на гору Мазама, оставив огромную дыру, кратер, со временем заполнившийся водой.

Незнание законов природы приводило людей в древние времена к изобретению богов, распространяющих своё влияние на каждый аспект человеческой жизни. Были боги любви и войны, Солнца, земли и неба, океанов и рек, дождя и бурь, даже землетрясений и вулканов. Когда боги были довольны, человечество наслаждалось хорошей погодой, миром, а также свободой от природных катастроф и болезней. Будучи расстроенными и недовольными, они вызывали засухи, войны, мор и эпидемии. Поскольку причинно-следственные связи, лежащие в основе природных явлений, оставались невидимы человеческому глазу, пути богов представлялись непостижимыми и люди должны были уповать на их милость. Но с появлением Фалеса Милетского (прим.624 до РХ - прим.546 до РХ) около 2600 лет назад, положение дел начало меняться. Появилась идея, что природа следует непротиворечивым принципам, которые

a Klamath chief. She spurns him, and in revenge Llaol tries to destroy the Klamath with fire. Luckily, according to the legend, Skell, the chief of the Above World, pities the humans and does battle with his underworld counterpart. Eventually Llaol, injured, falls back inside Mount Mazama, leaving a huge hole, the crater that eventually filled with water.

Ignorance of nature's ways led people in ancient times to invent gods to lord it over every aspect of human life. There were gods of love and war; of the sun, earth, and sky; of the oceans and rivers; of rain and thunderstorms; even of earthquakes and volcanoes. When the gods were pleased, mankind was treated to good weather, peace, and freedom from natural disaster and disease. When they were displeased, there came drought, war, pestilence, and epidemics. Since the connection of cause and effect in nature was invisible to their eyes, these gods appeared inscrutable, and people at their mercy. But with Thales of Miletus (ca. 624 BC– ca. 546 BC) about 2,600 years ago, that began to change. The idea arose that nature follows consistent principles that



могут быть разгаданы. И вот так начался долгий процесс замещения представлений о власти богов концепцией Вселенной, управляемой законами природы и созданной по чертежам, которые мы когда-нибудь научимся читать.

С точки зрения хронологии человеческой истории, научные исследования являются весьма новым видом деятельности. Наш вид, человек разумный, зародился к югу от пустыни Сахара в Африке около 200000 лет до РХ. Около 7000 лет до РХ появился письменный язык, как продукт развития обществ, занимающихся выращиванием зерновых культур. (В некоторых из старейших надписей речь идёт о дневной норме пива, дозволенной каждому гражданину). Наиболее ранние записи великой древнегреческой цивилизации датируются 9 веком до РХ, но расцвет этой цивилизации, известный как "классический период", наступил несколькими веками позже, начавшись незадолго до 500 года до РХ. Согласно Аристотелю (384 - 322 до РХ), это произошло примерно в то время, когда Фалес впервые разработал гипотезу о том, что мир может быть познан, что сложность событий, происходящих вокруг нас, может быть сведена к простым принципам и объяснена без использования мифологических или теологических толкований.

could be deciphered. And so began the long process of replacing the notion of the reign of gods with the concept of a universe that is governed by laws of nature, and created according to a blueprint we could someday learn to read.

Viewed on the timeline of human history, scientific inquiry is a very new endeavor. Our species, *Homo sapiens*, originated in sub-Saharan Africa around 200,000 BC. Written language dates back only to about 7000 BC, the product of societies centered around the cultivation of grain. (Some of the oldest written inscriptions concern the daily ration of beer allowed to each citizen.) The earliest written records from the great civilization of ancient Greece date back to the ninth century BC, but the height of that civilization, the "classical period," came several hundred years later, beginning a little before 500 BC. According to Aristotle (384 BC–322 BC), it was around that time that Thales first developed the idea that the world can be understood, that the complex happenings around us could be reduced to simpler principles and explained without resorting to mythical or theological explanations.

Фалесу приписывают первое предсказание солнечного затмения в 585 году до РХ, хотя высокая точность его предсказания, была, скорее всего, удачным совпадением. Он был загадочной личностью, не оставив после себя никаких своих письменных трудов. Его дом, являясь одним из интеллектуальных центров региона, колонизированного греками и называемого "Иония", оказывал влияние, распространившееся от Турции на запад, до Италии. Ионийская наука была предприятием, отмеченным значительным интересом к раскрытию основополагающих законов с целью получения объяснений природных явлений, знаменательной вехой в истории человеческих идей. Их подход был рационален и во многих случаях приводил к заключениям, удивительным образом совпадающим с теми, к которым наши, более изощрённые методы, приводят нас сегодня. Он представлял собой великое начинание. Но спустя столетия большинство ионийских научных знаний будут забыты - только для того, чтобы быть открытыми или изобретёнными заново, иногда не единожды.

Согласно легенде, первая математическая формула того, что сегодня мы могли бы назвать законом природы, восходит к ионийцу по имени Пифагор (прим. 580 до РХ - 490 до РХ), известному теоремой, названной в его честь и гласящей, что квадрат

Thales is credited with the first prediction of a solar eclipse in 585 BC, though the great precision of his prediction was probably a lucky guess. He was a shadowy figure who left behind no writings of his own. His home was one of the intellectual centers in a region called Ionia, which was colonized by the Greeks and exerted an influence that eventually reached from Turkey as far west as Italy. Ionian science was an endeavor marked by a strong interest in uncovering fundamental laws to explain natural phenomena, a tremendous milestone in the history of human ideas. Their approach was rational and in many cases led to conclusions surprisingly similar to what our more sophisticated methods have led us to believe today. It represented a grand beginning. But over the centuries much of Ionian science would be forgotten—only to be rediscovered or reinvented, sometimes more than once.

According to legend, the first mathematical formulation of what we might today call a law of nature dates back to an Ionian named Pythagoras (ca. 580 BC—ca. 490 BC), famous for the theorem named after him: that the square of the

гипотенузы (длинная сторона) прямоугольного треугольника равен сумме квадратов двух других сторон. Говорят, что Пифагор обнаружил числовую связь между длиной струн, используемых в музыкальных инструментах, и гармоническими сочетаниями звуков. Говоря сегодняшним языком, мы могли бы описать эту связь, сказав, что частота - количество колебаний в секунду - для струны, колеблющейся при постоянной величине натяжения, обратно пропорционально длине струны. С практической точки зрения это объясняет, почему бас-гитары должны иметь более длинные струны, нежели обычные гитары. Возможно, и не Пифагор открыл это - он также не открывал теорему, носящую его имя - ведь существует свидетельство, что зависимость между длиной струны и высотой звука была известна в его время. Если это так, то можно назвать эту простую математическую формулу первым примером того, что нам в настоящее время известно, как теоретическая физика.

hypotenuse (longest side) of a right triangle equals the sum of the squares of the other two sides. Pythagoras is said to have discovered the numerical relationship between the length of the strings used in musical instruments and the harmonic combinations of the sounds. In today's language we would describe that relationship by saying that the frequency—the number of vibrations per second—of a string vibrating under fixed tension is inversely proportional to the length of the string. From the practical point of view, this explains why bass guitars must have longer strings than ordinary guitars. Pythagoras probably did not really discover this—he also did not discover the theorem that bears his name—but there is evidence that some relation between string length and pitch was known in his day. If so, one could call that simple mathematical formula the first instance of what we now know as theoretical physics.





**Иония.** Ученые древней Ионии были среди первых, кто объяснял природные явления через законы природы, а не через мифы и богословие.

Отдельно от закона струн Пифагора единственными физическими законами, которые точно были известны древним, являются три закона, подробно описанные Архимедом (прим. 287 до РХ - прим. 212 до РХ), гораздо более известным физиком античности. В современной терминологии закон рычага объясняет, что малыми силами может быть поднят большой вес, потому что рычаг увеличивает силу согласно отношению расстояний от



**Ionia** Scholars in ancient Ionia were among the first to explain natural phenomena through laws of nature rather than myth or theology.

Apart from the Pythagorean law of strings, the only physical laws known correctly to the ancients were three laws detailed by Archimedes (ca. 287 BC–ca. 212 BC), by far the most eminent physicist of antiquity. In today's terminology, the law of the lever explains that small forces can lift large weights because the lever amplifies a force according to the ratio of the distances from the

точки опоры рычага. Закон плавучести гласит, что любой объект, помещённый в жидкость, будет испытывать выталкивающую силу, равную весу вытесненной объектом жидкости. И закон отражения утверждает, что угол между лучом света и зеркалом будет равен углу между зеркалом и отражённым лучом. Однако сам Архимед не называл их законами, он также не объяснял их со ссылками на результаты наблюдений и измерений. Вместо этого он рассматривал их как чисто математические теоремы, являющиеся частью, не требующей доказательств системы, весьма схожей с той, что Евклид создал для геометрии.

По мере распространения ионийского влияния появлялись и другие люди, способные увидеть, что во Вселенной присутствует определённого рода порядок, который может быть понят посредством наблюдений и формирования умозаключений. Анаксимандр (прим. 610 до РХ - прим. 546 до РХ), друг и, возможно, ученик Фалеса, утверждал, что поскольку человеческие младенцы при рождении абсолютно беспомощны, то если бы первый человек каким-либо образом появился бы на Земле, будучи младенцем, то не смог бы выжить. В дальнейшем, и это можно отметить как первый в истории человечества намёк на эволюцию, Анаксимандр обосновывал, что люди должны были, таким образом, развиваться из других животных, чьи детёныши

lever's fulcrum. The law of buoyancy states that any object immersed in a fluid will experience an upward force equal to the weight of the displaced fluid. And the law of reflection asserts that the angle between a beam of light and a mirror is equal to the angle between the mirror and the reflected beam. But Archimedes did not call them laws, nor did he explain them with reference to observation and measurement. Instead he treated them as if they were purely mathematical theorems, in an axiomatic system much like the one Euclid created for geometry.

As the Ionian influence spread, there appeared others who saw that the universe possesses an internal order, one that could be understood through observation and reason. Anaximander (ca. 610 BC—ca. 546 BC), a friend and possibly a student of Thales, argued that since human infants are helpless at birth, if the first human had somehow appeared on earth as an infant, it would not have survived. In what may have been humanity's first inkling of evolution, people, Anaximander reasoned, must therefore have evolved from other animals whose young are

более выносливы. На Сицилии Эмпедокл (прим. 490 до РХ - прим. 430 до РХ) наблюдал за использованием инструмента, называющегося клепсидра. Иногда используемый в качестве черпака, он представляет собой сферу с открытым горлышком и небольшими отверстиями в дне. Будучи погружён в воду, он наполняется и, если затем закрыть горловину, клепсидру можно поднять без вытекания воды через отверстия на дне. Эмпедокл заметил, что если закрыть горловину перед погружением, то клепсидра не заполняется. Он аргументировал это тем, что нечто невидимое должно быть препятствует поступлению воды через отверстия в сферу - таким образом он открыл материю, которую мы называем воздухом.

Приблизительно в то же время Демокрит (прим. 460 до РХ - прим. 370 до РХ), проживающий в ионийской колонии в северной Греции, размышлял, что происходит, когда предмет ломают или разрезают на части. Он утверждал, что вы не сможете продолжать этот процесс бесконечно. Вместо этого он постулировал, что всё сущее, включая всех живых существ, состоит из элементарных частиц, которые не могут быть разрезаны или разломаны на части. Он назвал эти предельные частицы атомами, от греческого прилагательного, означающего "неделимый". Демокрит полагал, что даже

hardier. In Sicily, Empedocles (ca. 490 BC–ca. 430 BC) observed the use of an instrument called a clepsydra. Sometimes used as a ladle, it consisted of a sphere with an open neck and small holes in its bottom. When immersed in water it would fill, and if the open neck was then covered, the clepsydra could be lifted out without the water in it falling through the holes. Empedocles noticed that if you cover the neck before you immerse it, a clepsydra does not fill. He reasoned that something invisible must be preventing the water from entering the sphere through the holes—he had discovered the material substance we call air.

Around the same time Democritus (ca 460 BC–ca. 370 BC), from an Ionian colony in northern Greece, pondered what happened when you break or cut an object into pieces. He argued that you ought not to be able to continue the process indefinitely. Instead he postulated that everything, including all living beings, is made of fundamental particles that cannot be cut or broken into parts. He named these ultimate particles atoms, from the Greek adjective meaning “uncuttable.” Democritus believed that every



материальные явления являются результатом взаимодействия атомов. С его точки зрения, получившей название атомизм, все атомы в пространстве движутся и, до тех пор, пока на них не оказывается воздействие, продолжают своё движение неопределённое время. Сегодня эта гипотеза называется законом инерции.

Революционная идея о том, что мы всего лишь обычные жители Вселенной, а не особые существа, призванные служить её центром, впервые отстаивалась Аристархом (прим. 310 до РХ - прим. 230 до РХ), одним из последних ионийских учёных. До наших дней дошло только одно из его вычислений, сложный геометрический анализ тщательных наблюдений, которые он производил, замеряя размер земной тени на поверхности Луны во время лунного затмения. Из своих наблюдений он сделал вывод, что Солнце должно намного превосходить размерами Землю. Возможно, вдохновлённый идеей о том, что малые объекты должны обращаться вокруг гигантских, а не наоборот, он стал первым человеком, утверждающим, что Земля не является центром нашей планетарной системы, а напротив, она и другие планеты вращаются по орбитам вокруг Солнца. Малый шаг от понимания того, что Земля это всего лишь одна из планет до идеи о том, что наше Солнце также не является чем-то особенным. Аристарх думал, что дело

material phenomenon is a product of the collision of atoms. In his view, dubbed atomism, all atoms move around in space, and, unless disturbed, move forward indefinitely. Today that idea is called the law of inertia.

The revolutionary idea that we are but ordinary inhabitants of the universe, not special beings distinguished by existing at its center, was first championed by Aristarchus (ca. 310 BC—ca. 230 BC), one of the last of the Ionian scientists. Only one of his calculations survives, a complex geometric analysis of careful observations he made of the size of the earth's shadow on the moon during a lunar eclipse. He concluded from his data that the sun must be much larger than the earth. Perhaps inspired by the idea that tiny objects ought to orbit mammoth ones and not the other way around, he became the first person to argue that the earth is not the center of our planetary system, but rather that it and the other planets orbit the much larger sun. It is a small step from the realization that the earth is just another planet to the idea that our sun is nothing special either. Aristarchus suspected that this was the

обстоит именно так и полагал, что звезды, которые мы видим на ночном небе, на самом деле не что иное как далёкие Солнца.

Ионийцы были одной из многих школ древнегреческой философии, каждая из которых имела отличающие её и зачастую противоречивые традиции. К сожалению, ионийский взгляд на природу - что она может получить объяснение посредством общих законов и сведения к простому набору принципов - оказывал мощное влияние лишь на протяжении нескольких столетий. Одним из объяснений этого, является то, что в ионийских теориях, часто казалось, нет места для понятий свободной воли, целеполагания или концепции того, что боги вмешиваются в происходящее на Земле. Это было поразительным упущением, весьма тревожащим как древнегреческих мыслителей, так и многих людей сегодня. Философ Эпикур (341 - 270 до РХ), к примеру, выступал против атомизма основываясь на том, что "лучше следовать мифам о богах, чем стать рабом в судьбе натурфилософов". Аристотель также отвергал концепцию атомов, поскольку не мог принять тот факт, что человеческие существа состоят из бездушных неживых объектов. Ионийская идея о том, что человек не является центром Вселенной, была ключевой вехой в нашем понимании космоса, но

case and believed that the stars we see in the night sky are actually nothing more than distant suns.

The Ionians were but one of many schools of ancient Greek philosophy, each with different and often contradictory traditions. Unfortunately, the Ionians' view of nature—that it can be explained through general laws and reduced to a simple set of principles—exerted a powerful influence for only a few centuries. One reason is that Ionian theories often seemed to have no place for the notion of free will or purpose, or the concept that gods intervene in the workings of the world. These were startling omissions as profoundly unsettling to many Greek thinkers as they are to many people today. The philosopher Epicurus (341 BC–270 BC), for example, opposed atomism on the grounds that it is “better to follow the myths about the gods than to become a ‘slave’ to the destiny of natural philosophers.” Aristotle too rejected the concept of atoms because he could not accept that human beings were composed of soulless, inanimate objects. The Ionian idea that the universe is not human-centered was a milestone in our understanding of the cosmos, but

стоит отметить, что, будучи высказанной, эта идея не стала распространённой и общепризнанной, до появления Галилея, почти двадцатью столетиями позже.

Какими бы проницательными порой не были их размышления о природе, большинство идей древних греков не могли бы соответствовать требованиям, предъявляемым к научным теориям в наше время. Например, поскольку греки не изобрели научный метод, разработка их теорий не предполагала получения экспериментального подтверждения. Таким образом, если один учёный утверждал, что атом движется прямолинейно до тех пор, пока не столкнётся с другим атомом, а другой учёный заявлял, что атом движется по прямой до тех пор, пока не столкнётся с циклопом, не существовало объективного способа разрешить подобное противоречие. Также, отсутствовали чёткие различия между человеческими и физическими законами. В пятом веке до РХ, к примеру, Анаксимандр писал, что все вещи появляются из некоей первичной субстанции и возвращаются в неё, чтобы "заплатить штраф и претерпеть наказание за их недостойное поведение". Согласно ионийскому философу Гераклиту (прим. 535 до РХ - прим. 475 до РХ), Солнце ведёт себя так, а не иначе, потому что, в противном случае, оно станет объектом преследования со стороны богини правосудия. Несколькими столетиями спустя, стоики - греческая философская школа,

it was an idea that would be dropped and not picked up again, or commonly accepted, until Galileo, almost twenty centuries later.

As insightful as some of their speculations about nature were, most of the ideas of the ancient Greeks would not pass muster as valid science in modern times. For one, because the Greeks had not invented the scientific method, their theories were not developed with the goal of experimental verification. So if one scholar claimed an atom moved in a straight line until it collided with a second atom and another scholar claimed it moved in a straight line until it bumped into a cyclops, there was no objective way to settle the argument. Also, there was no clear distinction between human and physical laws. In the fifth century BC, for instance, Anaximander wrote that all things arise from a primary substance, and return to it, lest they "pay fine and penalty for their iniquity." And according to the Ionian philosopher Heraclitus (ca. 535 BC—ca. 475 BC), the sun behaves as it does because otherwise the goddess of justice will hunt it down. Several hundred years later the Stoics, a school of Greek philosophers

возникшая около третьего века до РХ, ввели различие между состояниями, свойственными человеку и законами природы. Однако они включили правила человеческого поведения, считавшиеся ими универсальными, такими как поклонение Богу и почитание родителей, в категорию законов природы. И наоборот, они часто описывали физические процессы в юридических терминах и полагали, что на эти процессы может быть оказано таким образом воздействие, несмотря на то, что объекты, от которых требовалось "повиновение" законам, являлись неодушевлёнными. Если вам представляется сложной задача заставить людей соблюдать правила дорожного движения, представьте себе процесс убеждения, направленный на астероид, с целью заставить его двигаться по эллиптической орбите.

Эта традиция продолжала оказывать влияние на мыслителей, преемников греков, на протяжении многих столетий. В тринадцатом веке раннехристианский философ Фома Аквинский (прим. 1225 - 1274) принял эту точку зрения и использовал её для доказательства существования Бога, написав, "Является несомненным, что [неодушевлённые тела] достигают своего конца не случайно, но намеренно... Существует, таким образом, разумное существо, чьей волей всё в природе направляется к завершению. Даже в конце шестнадцатого века, великий немецкий астроном Кеплер (1571-1630) полагал, что

that arose around the third century BC, did make a distinction between human statutes and natural laws, but they included rules of human conduct they considered universal—such as veneration of God and obedience to parents—in the category of natural laws. Conversely, they often described physical processes in legal terms and believed them to be in need of enforcement, even though the objects required to “obey” the laws were inanimate. If you think it is hard to get humans to follow traffic laws, imagine convincing an asteroid to move along an ellipse.

This tradition continued to influence the thinkers who succeeded the Greeks for many centuries thereafter. In the thirteenth century the early Christian philosopher Thomas Aquinas (ca. 1225–1274) adopted this view and used it to argue for the existence of God, writing, “It is clear that [inanimate bodies] reach their end not by chance but by intention.... There is therefore, an intelligent personal being by whom everything in nature is ordered to its end.” Even as late as the sixteenth century, the great German astronomer Johannes Kepler (1571–1630) believed that



планеты обладают чувством восприятия и сознательно следуют законам движения, заложенным в их рассудок.

Понятие о законах природы как о том, чему следует неукоснительно повиноваться отражает тот факт, что внимание древних было сосредоточено на том, почему природа ведёт себя тем или иным образом, а не на том как она это делает. Аристотель был одним из ведущих сторонников такого подхода, отвергая идею науки, основывающейся преимущественно на наблюдениях. В любом случае, производить точные измерения и математические вычисления в древние времена было затруднительно. Десятичная система, которую мы находим столь удобной для арифметических вычислений, датируется примерно 700 годом нашей эры, когда индусы достигли первых успехов в превращении данного метода в мощный инструмент. Обозначение знаков "плюс" и "минус" не было известно до пятнадцатого века. Также до шестнадцатого века не были известны знак равенства и часы, которые позволили бы измерить время с точностью до секунды.

Аристотель, однако, не видел проблем в измерении и вычислении как препятствия для развития физики, которая могла произвести количественные предсказания. Скорее он не видел потребности делать их. Вместо этого Аристотель построил свою физику

planets had sense perception and consciously followed laws of movement that were grasped by their "mind."

The notion that the laws of nature had to be intentionally obeyed reflects the ancients' focus on *why* nature behaves as it does, rather than on *how* it behaves. Aristotle was one of the leading proponents of that approach, rejecting the idea of science based principally on observation. Precise measurement and mathematical calculation were in any case difficult in ancient times. The base ten number notation we find so convenient for arithmetic dates back only to around AD 700, when the Hindus took the first great strides toward making that subject a powerful tool. The abbreviations for plus and minus didn't come until the fifteenth century. And neither the equal sign nor clocks that could measure times to the second existed before the sixteenth century.

Aristotle, however, did not see problems in measurement and calculation as impediments to developing a physics that could produce quantitative predictions. Rather, he saw no need to make them. Instead, Aristotle built his physics

на принципах, которые привлекали его интеллектуально. Он исключал факты, которые находил непривлекательными и сосредотачивал усилия на выявлении причин, по которым происходят события, уделяя относительно мало внимания тому, что именно происходит. Аристотель только тогда корректировал свои заключения, когда их вопиющее расхождение с результатами наблюдений уже нельзя было игнорировать. Однако вносимые исправления зачастую являлись специальным образом подобранными объяснениями, которые были не более чем попытками скрыть суть противоречия. Таким образом, независимо от степени расхождения его теории с действительным положением дел, он всегда мог внести в неё правки в объёме, достаточном для устранения противоречий. К примеру, его теория движения определяла, что тяжёлые тела падают с постоянной скоростью, пропорциональной их весу. Для объяснения того факта, что скорость объектов при падении очевидным образом возрастала, он изобрёл новый принцип, декларирующий, что поведение тел приобретает "ликующий" характер и, следовательно, они ускоряются, приближаясь к месту обретения покоя. Сегодня подобный принцип выглядит применимым для описания скорее отдельной категории людей, нежели неодушевлённых объектов. Хотя теории Аристотеля зачастую имели низкую прогнозную ценность, его подход к науке преобладал в западном мышлении почти две

upon principles that appealed to him intellectually. He suppressed facts he found unappealing and focused his efforts on the reasons things happen, with relatively little energy invested in detailing exactly what was happening. Aristotle did adjust his conclusions when their blatant disagreement with observation could not be ignored. But those adjustments were often ad hoc explanations that did little more than paste over the contradiction. In that manner, no matter how severely his theory deviated from actuality, he could always alter it just enough to seem to remove the conflict. For example, his theory of motion specified that heavy bodies fall with a constant speed that is proportional to their weight. To explain the fact that objects clearly pick up speed as they fall, he invented a new principle—that bodies proceed more jubilantly, and hence accelerate, when they come closer to their natural place of rest, a principle that today seems a more apt description of certain people than of inanimate objects. Though Aristotle's theories often had little predictive value, his approach to science dominated Western thought for nearly two



тысячи лет.

Христианские последователи древних греков отвергли гипотезу о том, что Вселенная управляется беспристрастными законами природы. Также они отвергли идею о том, что люди не занимают во Вселенной привилегированную позицию. И хотя в средние века не существовало единой связной философской системы, объединяющим моментом было представление о Вселенной как о игровой площадке Бога, а изучать религию представлялось значительно более ценным, нежели природные явления. В самом деле, в 1277 году парижским епископом Темпьером, действующим по указанию Папы Иоанна XXI, был опубликован список 219 ошибок или ересей, которые считались неприемлемыми. В числе ересей, как вступающая в противоречие с идеей всемогущества Бога, находилась и гипотеза о природе, подчиняющейся законам. Интересно, что Папа Иоанн пал жертвой закона гравитации несколькими месяцами спустя, когда крыша его дворца обрушилась на него.

thousand years.

The Greeks' Christian successors rejected the idea that the universe is governed by indifferent natural law. They also rejected the idea that humans do not hold a privileged place within that universe. And though the medieval period had no single coherent philosophical system, a common theme was that the universe is God's dollhouse, and religion a far worthier study than the phenomena of nature. Indeed, in 1277 Bishop Tempier of Paris, acting on the instructions of Pope John XXI, published a list of 219 errors or heresies that were to be condemned. Among the heresies was the idea that nature follows laws, because this conflicts with God's omnipotence. Interestingly, Pope John was killed by the effects of the law of gravity a few months later when the roof of his palace fell in on him.



“Если я и познал одну вещь в моем длительном господстве, это то, что жар возрастает.”

Современная концепция законов природы появилась в семнадцатом веке. Кеплер, похоже, был первым учёным, в значении, которое вкладывает в этот термин современная наука, хотя, как было сказано ранее, он сохранял анимистический взгляд на природу физических объектов. Галилей (1564 - 1642) не использовал термин "закон" в



“If I’ve learned one thing in my long reign, it’s that heat rises.”

The modern concept of laws of nature emerged in the seventeenth century. Kepler seems to have been the first scientist to understand the term in the sense of modern science, though as we’ve said, he retained an animistic view of physical objects. Galileo (1564–1642) did not use the term “law” in

своих наиболее известных научных трудах (хотя такой термин появлялся в некоторых переводах этих работ). Использовал он этот термин или нет, но Галилей открыл огромное множество законов и отстаивал значение принципов, согласно которым наблюдение лежит в основе науки и предназначением науки является исследование количественных связей, существующих между физическими явлениями. Однако, человеком, который недвусмысленно и чётко сформулировал понятие законов природы в их современном понимании, был Рене Декарт (1596 - 1650).

Декарт полагал, что все физические явления должны быть объяснены в терминах столкновения движущихся масс, управляемых тремя законами - предшественниками знаменитых Ньютоновских законов движения. Он утверждал, что эти законы природы выполняются в любом месте и в любое время и недвусмысленно указывал, что подчинение этим законам не подразумевает разумности движущихся тел. Декарт также понял значимость того, что мы сегодня называем "исходными условиями". Они описывали состояние системы в начале произвольного промежутка времени, в течение которого наблюдатель строит прогнозы. При заданном наборе исходных условий

his most scientific works (though it appears in some translations of those works). Whether or not he used the word, however, Galileo did uncover a great many laws, and advocated the important principles that observation is the basis of science and that the purpose of science is to research the quantitative relationships that exist between physical phenomena. But the person who first explicitly and rigorously formulated the concept of laws of nature as we understand them was René Descartes (1596–1650).

Descartes believed that all physical phenomena must be explained in terms of the collisions of moving masses, which were governed by three laws—precursors of Newton’s famous laws of motion. He asserted that those laws of nature were valid in all places and at all times, and stated explicitly that obedience to these laws does not imply that these moving bodies have minds. Descartes also understood the importance of what we today call “initial conditions.” Those describe the state of a system at the beginning of whatever interval of time over which one seeks to make predictions. With a given set of initial conditions,

законы природы определяют, как система будет развиваться с течением времени, но без заданных исходных условий характер развития определить невозможно. Если, к примеру, в момент начала отсчёта времени голубь, находящийся непосредственно над наблюдателем, роняет вниз свой "гостинец", траектория данного падающего объекта определена законами Ньютона. Но результат может весьма различаться, в зависимости от того, сидит ли в момент начала отсчёта времени голубь неподвижно на телефонном проводе или же находится в состоянии полёта со скоростью 20 миль в час. Для применения законов природы наблюдатель должен знать о состоянии системы в момент начала наблюдений или, по меньшей мере, о её состоянии в определённый момент времени. (Наблюдатель может также использовать законы природы, чтобы определить состояние системы в прошлом).

По мере возрождения веры в существование законов природы имели место и новые попытки примирить эти законы с концепцией существования Бога. Согласно Декарту, Бог может по желанию изменять истинность или ложность этических суждений или математических теорем, но не природа. Он полагал, что Бог предопределил законы природы, но не имел возможности выбора в этом процессе; напротив, он выбрал их потому, что законы, влияние которых мы испытываем, являлись единственно возможным выбором. Это могло показаться посягательством на власть Бога, но Декарт обошёл

the laws of nature determine how a system will evolve over time, but without a specific set of initial conditions, the evolution cannot be specified. If, for example, at time zero a pigeon directly overhead lets something go, the path of that falling object is determined by Newton's laws. But the outcome will be very different depending on whether, at time zero, the pigeon is sitting still on a telephone wire or flying by at 20 miles per hour. In order to apply the laws of physics one must know how a system started off, or at least its state at some definite time. (One can also use the laws to follow a system backward in time.)

With this renewed belief in the existence of laws of nature came new attempts to reconcile those laws with the concept of God. According to Descartes, God could at will alter the truth or falsity of ethical propositions or mathematical theorems, but not nature. He believed that God ordained the laws of nature but had no choice in the laws; rather, he picked them because the laws we experience are the only possible laws. This would seem to impinge on God's authority, but Descartes got around that by arguing that the laws



этот момент, утверждая, что неизменность этих законов является отражением присущих самому Богу качеств. Если бы это было правдой, можно было бы предположить, что у Бога всё ещё есть возможность создания многообразных различных миров, каждый из которых характеризовался бы различным набором исходных условий. Однако Декарт это также отрицал. Независимо от способов организации материи в момент появления Вселенной, утверждал он, спустя время, в процессе развития появится мир идентичный нашему. Более того, Декарт предполагал, что Бог, единожды сотворив мир, оставил его в полном одиночестве.

Подобное положение (с некоторыми исключениями) было принято Исааком Ньютоном (1643-1727). Ньютон был человеком, добившимся со своими тремя законами движения и законом земного притяжения принятия современной концепции физического закона. Его законы позволяли производить расчёты орбит Земли, Луны и планет, а также объясняли такие явления, как приливы. Небольшое количество уравнений, разработанных им, а также развитая нами на их основе математическая база, всё ещё изучаются сегодня и применяются как архитектором при проектировании здания, так и инженером, проектирующим автомобиль или физиком, производящим расчёты, для точного нацеливания ракеты, предназначенной к посадке на

are unalterable because they are a reflection of God's own intrinsic nature. If that were true, one might think that God still had the choice of creating a variety of different worlds, each corresponding to a different set of initial conditions, but Descartes also denied this. No matter what the arrangement of matter at the beginning of the universe, he argued, over time a world identical to ours would evolve. Moreover, Descartes felt, once God set the world going, he left it entirely alone.

A similar position (with some exceptions) was adopted by Isaac Newton (1643–1727). Newton was the person who won widespread acceptance of the modern concept of a scientific law with his three laws of motion and his law of gravity, which accounted for the orbits of the earth, moon, and planets, and explained phenomena such as the tides. The handful of equations he created, and the elaborate mathematical framework we have since derived from them, are still taught today, and employed whenever an architect designs a building, an engineer designs a car, or a physicist calculates how to aim a rocket meant to land on

Марс. Как писал поэт Александр Поуп:

*"Был этот мир извечной тьмой окутан;  
Да будет свет! — и вот явился Ньютон".*

Сегодня большинство учёных сказали бы, что закон природы это правило, опирающееся на результаты регулярных наблюдений и позволяющее делать прогнозы, распространяющиеся за пределы наблюдаемой ситуации. К примеру, мы могли бы заметить, что Солнце восходит на востоке каждое утро нашей жизни и постулировать закон, гласящий "Солнце всегда восходит на востоке". Данное утверждение является обобщением, распространяющимся за пределы наших наблюдений за восходящим Солнцем, и формирует проверяемый прогноз на будущее. С другой стороны, заявление "Компьютеры в этом офисе - чёрные" не является законом природы, поскольку относится только к компьютерам, находящимся внутри офисного помещения и не позволяет делать прогнозы вроде "Если в мой офис купят новый компьютер, он будет чёрным".

Наше современное понимание термина "закон природы" является предметом спора философов с момента появления и это более тонкий вопрос, нежели может показаться на первый взгляд. К примеру, философ Джон У.

Mars. As the poet Alexander Pope said:

*Nature and Nature's laws lay hid in night:  
God said, Let Newton be! and all was light.*

Today most scientists would say a law of nature is a rule that is based upon an observed regularity and provides predictions that go beyond the immediate situations upon which it is based. For example, we might notice that the sun has risen in the east every morning of our lives, and postulate the law "The sun always rises in the east." This is a generalization that goes beyond our limited observations of the rising sun and makes testable predictions about the future. On the other hand, a statement such as "The computers in this office are black" is not a law of nature because it relates only to the computers within the office and makes no predictions such as "If my office purchases a new computer, it will be black."

Our modern understanding of the term "law of nature" is an issue philosophers argue at length, and it is a more subtle question than one may at first think. For example, the philosopher John W.



Кэрролл сравнивал утверждение "Все золотые шары - менее мили в диаметре" с утверждением "Все шары, состоящие из урана-235 - менее мили в диаметре". Наши наблюдения окружающего мира подтверждают, что не существует золотых шаров в милю шириной и, с достаточной степенью уверенности, можно считать, что их никогда и не будет. Тем не менее, у нас нет причин полагать, что появление такого шара невозможно и, следовательно, данное утверждение не может считаться законом. С другой стороны, утверждение, что "Все шары, состоящие из урана-235 - менее мили в диаметре" могло бы считаться законом природы, потому, что согласно нашим знаниям о ядерной физике, если шар, состоящий из урана-235, превысит диаметр шесть дюймов, он уничтожит себя в процессе ядерного взрыва. Таким образом, мы можем быть уверены, что подобные шары не существуют. (Предпринимать попытки создания такого шара - не самая лучшая идея!) Это различие важно, поскольку показывает, что не все обобщения, которые мы формируем в процессе наблюдений, могут считаться законами природы и что большинство законов природы являются компонентами более объёмной, взаимосвязанной системы законов.

В современной науке законы природы обычно записываются посредством математических формул. Они могут быть точными

Carroll compared the statement "All gold spheres are less than a mile in diameter" to a statement like "All uranium-235 spheres are less than a mile in diameter." Our observations of the world tell us that there are no gold spheres larger than a mile wide, and we can be pretty confident there never will be. Still, we have no reason to believe that there couldn't be one, and so the statement is not considered a law. On the other hand, the statement "All uranium-235 spheres are less than a mile in diameter" could be thought of as a law of nature because, according to what we know about nuclear physics, once a sphere of uranium-235 grew to a diameter greater than about six inches, it would demolish itself in a nuclear explosion. Hence we can be sure that such spheres do not exist. (Nor would it be a good idea to try to make one!) This distinction matters because it illustrates that not all generalizations we observe can be thought of as laws of nature, and that most laws of nature exist as part of a larger, interconnected system of laws.

In modern science laws of nature are usually phrased in mathematics. They can be either exact

или приближительными, но всегда без исключения должны обеспечивать возможность проверки посредством наблюдения, если и не в любом случае то, как минимум, для заданного набора условий. Например, нам теперь известно, что законы Ньютона должны быть изменены в случае, если объекты движутся со скоростями, близкими к скорости света. И всё же, мы считаем законы Ньютона законами, поскольку они обеспечивают как минимум очень высокое приближение результатов получаемых при измерениях, для условий повседневного мира, в котором скорости, с которыми мы имеем дело, гораздо ниже скоростей света.

Если природа управляется законами, возникает три вопроса:

1. Что является первоисточником этих законов?
2. Существуют ли исключения из законов, например, чудеса?
3. Единственный ли комплект законов существует?

Эти важные вопросы различным образом рассматривались учёными, философами и теологами. Ответ, традиционно даваемый на первый вопрос - ответ Кеплера, Галилея, Декарта и Ньютона - гласил, что законы это дело рук божьих.

or approximate, but they must have been observed to hold without exception—if not universally, then at least under a stipulated set of conditions. For example, we now know that Newton's laws must be modified if objects are moving at velocities near the speed of light. Yet we still consider Newton's laws to be laws because they hold, at least to a very good approximation, for the conditions of the everyday world, in which the speeds we encounter are far below the speed of light.

If nature is governed by laws, three questions arise:

1. What is the origin of the laws?
2. Are there any exceptions to the laws, i.e., miracles?
3. Is there only one set of possible laws?

These important questions have been addressed in varying ways by scientists, philosophers, and theologians. The answer traditionally given to the first question—the answer of Kepler, Galileo, Descartes, and Newton—was that the laws were the work of God.

Однако это есть не что иное, как определение Бога, являющегося воплощением законов природы. И если только исследователь не наделяет Бога иными атрибутами, присущими, к примеру, Богу Ветхого Завета, использование Бога в качестве ответа на первый вопрос есть не что иное, как замена одной загадки другой. Таким образом, включив Бога в ответ на первый вопрос, мы услышим отчётливый хруст в основании второго вопроса: существуют ли чудеса, исключения из законов?

Различия во мнениях касательно ответа на второй вопрос имеют чётко выделенный характер. Платон и Аристотель, наиболее влиятельные древнегреческие авторы, придерживались мнения, что из законов не существует исключений. Если же принять библейскую точку зрения, то Бог не только создал законы, но также может быть подвигнут посредством молитв на создание исключений, таких как исцеление неизлечимо больного, досрочное прекращение засухи или восстановления крокета как олимпийского вида спорта. В противоположность декартовской точке зрения, почти все христианские мыслители придерживались мнения, что Бог должен обладать возможностью временно приостанавливать действие законов для совершения чудес. Даже Ньютон в некотором роде верил в чудеса. Он думал, что орбиты планет могли быть нестабильны потому, что гравитационное притяжение одной планеты

However, this is no more than a definition of God as the embodiment of the laws of nature. Unless one endows God with some other attributes, such as being the God of the Old Testament, employing God as a response to the first question merely substitutes one mystery for another. So if we involve God in the answer to the first question, the real crunch comes with the second question: Are there miracles, exceptions to the laws?

Opinions about the answer to the second question have been sharply divided. Plato and Aristotle, the most influential ancient Greek writers, held that there can be no exceptions to the laws. But if one takes the biblical view, then God not only created the laws but can be appealed to by prayer to make exceptions—to heal the terminally ill, to bring premature ends to droughts, or to reinstate croquet as an Olympic sport. In opposition to Descartes's view, almost all Christian thinkers maintained that God must be able to suspend the laws to accomplish miracles. Even Newton believed in miracles of a sort. He thought that the orbit of the planets would be unstable because the gravitational attraction of one planet

к другой могло вызывать нарушение орбит, которое, увеличиваясь со временем, могло иметь результатом как падение планет на Солнце, так и выбрасывание их за пределы солнечной системы. Бог, полагал он, должен постоянно регулировать орбиты или, другими словами, "подводить небесные часы, не позволяя им останавливаться". Однако Пьер-Симон, маркиз де Лаплас (1749-1827), более известный как Лаплас, утверждал, что указанные возмущения могли быть периодическими, что являлось, скорее, свидетельством повторяющихся циклов, нежели кумулятивного эффекта. Солнечная система, таким образом, могла сама восстанавливать своё состояние и, чтобы объяснить, как она смогла дожить до сегодняшнего дня, в божественном вмешательстве необходимости не было.

С именем Лапласа обычно связывают первую четкую формулировку научного детерминизма: для данного состояния Вселенной в конкретный момент времени, существует комплект законов, позволяющий полностью определить как будущее, так и прошлое её состояния. Это могло бы исключить возможность чудес или лишило Бога возможности играть активную роль. Научный детерминизм, сформулированный Лапласом, это ответ современных учёных на второй вопрос. Это, по сути, основа всей современной науки и принцип, важность которого неизменна на всём протяжении данной книги. Научный закон не является таковым, если действует только

for another would cause disturbances to the orbits that would grow with time and would result in the planets either falling into the sun or being flung out of the solar system. God must keep on resetting the orbits, he believed, or "wind the celestial watch, lest it run down." However, Pierre-Simon, marquis de Laplace (1749–1827), commonly known as Laplace, argued that the perturbations would be periodic, that is, marked by repeated cycles, rather than being cumulative. The solar system would thus reset itself, and there would be no need for divine intervention to explain why it had survived to the present day.

It is Laplace who is usually credited with first clearly postulating scientific determinism: Given the state of the universe at one time, a complete set of laws fully determines both the future and the past. This would exclude the possibility of miracles or an active role for God. The scientific determinism that Laplace formulated is the modern scientist's answer to question two. It is, in fact, the basis of all modern science, and a principle that is important throughout this book. A scientific law is not a scientific law if it holds only

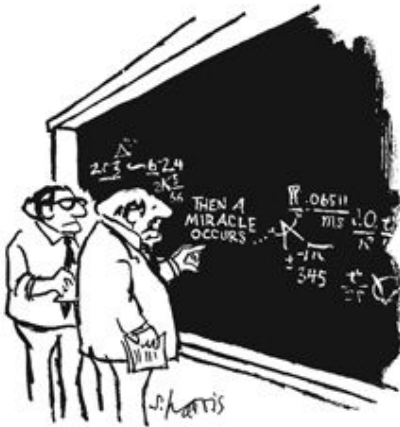


тогда, когда некая сверхъестественная сущность принимает решение не вмешиваться. Говорят, что поняв это, Наполеон спросил Лапласа о том, какое место занимает Бог в этой картине мира. Лаплас отвечал: "Сэр, я не нуждался в этой гипотезе".

Поскольку люди живут во Вселенной и взаимодействуют с другими её объектами, научный детерминизм должен быть также применим и к людям. Многие, однако, соглашаясь с тем, что научный детерминизм определяет течение физических процессов, хотели бы сделать исключение для поведения людей, основываясь на вере в наличие у нас свободной воли. Декарт, к примеру, для защиты идеи свободной воли утверждал, что разум человека не принадлежит физическому миру и не следует его законам. По его мнению, личность состоит из двух составных частей, тела и души. Тела - это не что иное, как заурядные машины, но души не попадают в сферу действия научных законов. Декарт проявлял интерес к анатомии и физиологии и считал небольшой орган в центре мозга, носящий название шишковидного тела, местом, в котором располагается душа. Эта железа, по его мнению, был местом, где формируются все наши мысли, источник нашей свободной воли. У людей есть свобода воли?

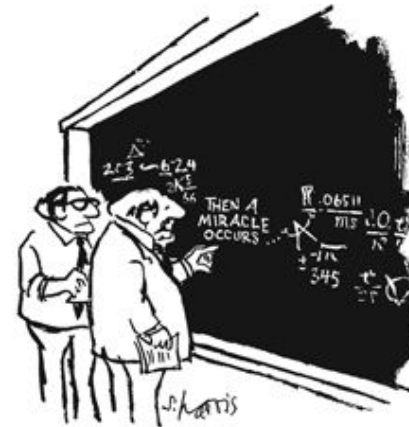
when some supernatural being decides not to intervene. Recognizing this, Napoleon is said to have asked Laplace how God fit into this picture. Laplace replied: "Sire, I have not needed that hypothesis."

Since people live in the universe and interact with the other objects in it, scientific determinism must hold for people as well. Many, however, while accepting that scientific determinism governs physical processes, would make an exception for human behavior because they believe we have free will. Descartes, for instance, in order to preserve the idea of free will, asserted that the human mind was something different from the physical world and did not follow its laws. In his view a person consists of two ingredients, a body and a soul. Bodies are nothing but ordinary machines, but the soul is not subject to scientific law. Descartes was very interested in anatomy and physiology and regarded a tiny organ in the center of the brain, called the pineal gland, as the principal seat of the soul. That gland, he believed, was the place where all our thoughts are formed, the wellspring of our free will.



“Я думаю, Вы должны быть более явным здесь на шаге два.”

Если мы обладаем свободной волей, то в каком месте эволюционного древа произошло её развитие? Обладают ли свободной волей сине-зелёные водоросли или бактерии, или их поведение автоматически и полностью в рамках законов науки? Только ли многоклеточные организмы обладают свободной волей, или она присуща лишь млекопитающим? Мы можем считать, что шимпанзе являет пример свободной воли, решив погрызть банан, или кошка, когда она потрошит ваш диван, но что насчёт круглого червя *Caenorhabditis elegans* - простого существа, состоящего всего из 959 клеток? Он, вероятно, никогда не думает,



“I think you should be more explicit here in step two.”

Do people have free will? If we have free will, where in the evolutionary tree did it develop? Do blue-green algae or bacteria have free will, or is their behavior automatic and within the realm of scientific law? Is it only multicelled organisms that have free will, or only mammals? We might think that a chimpanzee is exercising free will when it chooses to chomp on a banana, or a cat when it rips up your sofa, but what about the roundworm called *Caenorhabditis elegans*—a simple creature made of only 959 cells? It probably never thinks,



"А это была чертовски вкусная бактерия, что досталась мне на прошлый обед", хотя у него есть пищевые предпочтения и он, основываясь не недавнем опыте, либо выберет непривлекательную пищу, либо отправится на поиски чего получше.

Это ли пример свободной воли? Хотя мы и чувствуем, что можем выбирать что делать, наше понимание молекулярных основ показывает, что биологические процессы подчиняются законам физики и химии и, таким образом, также предопределены, как и орбиты планет. Недавние исследования в неврологии подтверждают точку зрения, согласно которой именно наш физический мозг, следуя известным законам науки, определяет наши действия, а вовсе не какая-то сила, существующая за пределами этих законов. К примеру, исследования пациентов, переносивших операции на мозге в состоянии бодрствования, показали, что воздействие электрическими импульсами на отдельные области мозга способно вызвать у пациента желание шевельнуть кистью, рукой, ногой, а также пошевелить губами или заговорить. Сложно представить, как свободная воля может действовать, если наше поведение определено физическими законами, так что, по-видимому, мы являемся ничем иным, как биологическими машинами, а свобода воли - это всего лишь иллюзия.

"That was damn tasty bacteria I got to dine on back there," yet it too has a definite preference in food and will either settle for an unattractive meal or go foraging for something better, depending on recent experience. Is that the exercise of free will?

Though we feel that we can choose what we do, our understanding of the molecular basis of biology shows that biological processes are governed by the laws of physics and chemistry and therefore are as determined as the orbits of the planets. Recent experiments in neuroscience support the view that it is our physical brain, following the known laws of science, that determines our actions, and not some agency that exists outside those laws. For example, a study of patients undergoing awake brain surgery found that by electrically stimulating the appropriate regions of the brain, one could create in the patient the desire to move the hand, arm, or foot, or to move the lips and talk. It is hard to imagine how free will can operate if our behavior is determined by physical law, so it seems that we are no more than biological machines and that free will is just an illusion.

Признавая, что человеческое поведение в действительности определяется законами природы, также следует заключить, что результат, определяемый настолько сложным способом и при наличии столь многих переменных величин, является практически непредсказуемым. Для его получения потребовалось бы знание о изначальном состоянии каждой из тысяч триллионов триллионов молекул человеческого тела и решение большого числа уравнений. Это заняло бы несколько миллиардов лет, что многовато для случаев когда, например, требуется всего лишь увернуться от замахнувшегося противника.

Поскольку непрактично применять основные физические законы для предсказания поведения людей, мы принимаем то, что называется действующей теорией. В физике под действующей теорией понимается структура, созданная с целью моделирования определённых наблюдаемых явлений, без детального описания всех основных составляющих процессов. Например, мы не в состоянии точно решить уравнения, определяющие гравитационные взаимодействия каждого атома в человеческом теле с каждым атомом Земли. Но, для практических целей, гравитационная сила возникающая между человеком и поверхностью земли, может быть описана

While conceding that human behavior is indeed determined by the laws of nature, it also seems reasonable to conclude that the outcome is determined in such a complicated way and with so many variables as to make it impossible in practice to predict. For that one would need a knowledge of the initial state of each of the thousand trillion trillion molecules in the human body and to solve something like that number of equations. That would take a few billion years, which would be a bit late to duck when the person opposite aimed a blow.

Because it is so impractical to use the underlying physical laws to predict human behavior, we adopt what is called an effective theory. In physics, an effective theory is a framework created to model certain observed phenomena without describing in detail all of the underlying processes. For example, we cannot solve exactly the equations governing the gravitational interactions of every atom in a person's body with every atom in the earth. But for all practical purposes the gravitational force between a person and the earth can be described

в виде всего нескольких чисел, таких, как общая масса тела человека. Подобным же образом, мы не в состоянии решить уравнения, определяющие поведение сложных атомов и молекул, но мы разработали действующую теорию, называемую химией, которая обеспечивает достаточное объяснение поведения атомов и молекул во время химических реакций, без необходимости учёта каждой детали взаимодействий. В случае же с людьми, раз уж мы не можем решить уравнения, определяющие наше поведение, мы применяем действующую теорию о наличии у людей свободной воли. Наукой, изучающей нашу волю и обусловленное ею поведение, является психология. Экономика также является действующей теорией, основанной на понятии свободной воли и допущении, что люди оценивают различные возможные варианты действий и выбирают наилучший. Действующая теория является умеренно успешной в части предсказания поведения, поскольку, как всем нам известно, решения зачастую являются нерациональными или основанными на неполном анализе последствий того или иного выбора. Вот поэтому-то в мире и царит такой беспорядок.

Третий вопрос рассматривает, являются ли законы, определяющие поведение Вселенной

in terms of just a few numbers, such as the person's total mass. Similarly, we cannot solve the equations governing the behavior of complex atoms and molecules, but we have developed an effective theory called chemistry that provides an adequate explanation of how atoms and molecules behave in chemical reactions without accounting for every detail of the interactions. In the case of people, since we cannot solve the equations that determine our behavior, we use the effective theory that people have free will. The study of our will, and of the behavior that arises from it, is the science of psychology. Economics is also an effective theory, based on the notion of free will plus the assumption that people evaluate their possible alternative courses of action and choose the best. That effective theory is only moderately successful in predicting behavior because, as we all know, decisions are often not rational or are based on a defective analysis of the consequences of the choice. That is why the world is in such a mess.

The third question addresses the issue of whether the laws that determine both the universe

и человека единственными в своём роде? Если на первый вопрос вы ответили, что Бог создал законы, тогда этот звучит следующим образом: была ли у него свобода выбора? Аристотель и Платон, как и Декарт, а позднее Эйнштейн считали, что принципы, лежащие в основе природы, существуют за пределами каких-либо "требований", поскольку являются единственными законами, формирующими рациональные объяснения. Следуя убеждению в том, что своему происхождению законы природы обязаны логике, Аристотель и его последователи полагали, что таковые законы должны "выводиться" без оглядки на то, как на самом деле ведёт себя природа. Это, а также размышления на тему, почему объекты следуют законам, вместо конкретизации того, чем законы являлись, привело его к созданию по большей части законов, выражаемых в качественной форме. Законов, которые зачастую были неверны и не принесли особой пользы, несмотря на то, что доминировали в научной мысли многие века. Много позже, люди, такие как Галилей, осмелились бросить вызов авторитету Аристотеля и наблюдали за тем, как на самом деле происходят природные явления, вместо принятия на веру того, что, согласно чистой воды "соображениям", должно было происходить.

Корни этой книги лежат в концепции научного детерминизма, который подразумевает, что ответ на второй вопрос не предполагает наличия чудес или исключений из законов природы. Мы постараемся, однако,

and human behavior are unique. If your answer to the first question is that God created the laws, then this question asks, did God have any latitude in choosing them? Both Aristotle and Plato believed, like Descartes and later Einstein, that the principles of nature exist out of "necessity," that is, because they are the only rules that make logical sense. Due to his belief in the origin of the laws of nature in logic, Aristotle and his followers felt that one could "derive" those laws without paying a lot of attention to how nature actually behaved. That, and the focus on why objects follow rules rather than on the specifics of what the rules are, led him to mainly qualitative laws that were often wrong and in any case did not prove very useful, even if they did dominate scientific thought for many centuries. It was only much later that people such as Galileo dared to challenge the authority of Aristotle and observe what nature actually did, rather than what pure "reason" said it ought to do.

This book is rooted in the concept of scientific determinism, which implies that the answer to question two is that there are no miracles, or exceptions to the laws of nature. We will, however,



дать более глубокие ответы на первый и третий вопросы, темы которых: как возникают законы и являются ли эти законы единственно возможным выбором. Но прежде всего, в следующей главе, мы постараемся изложить, что же, собственно, описывают законы природы. Большинство учёных сказали бы, что они являются математическим отражением внешней реальности, существующей независимо от наблюдателя. Но как только мы начинаем размышлять привычным способом, наблюдая и формируя концепции о нашем окружении, то тут же упираемся в вопрос: есть ли у нас основания полагать, что объективная реальность существует?

return to address in depth questions one and three, the issues of how the laws arose and whether they are the only possible laws. But first, in the next chapter, we will address the issue of what it is that the laws of nature describe. Most scientists would say they are the mathematical reflection of an external reality that exists independent of the observer who sees it. But as we ponder the manner in which we observe and form concepts about our surroundings, we bump into the question, do we really have reason to believe that an objective reality exists?







3



ЧТО ЕСТЬ РЕАЛЬНОСТЬ?

3



WHAT IS REALITY?

НЕСКОЛЬКО ЛЕТ НАЗАД городской совет

Монцы, Италия, запретил держать золотых рыбок в круглых аквариумах для золотых рыбок. Инициатор закона объяснил свою позицию тем, что держать рыбок в круглом аквариуме жестоко, так как реальность за его пределами будет представлять для них в искаженном виде. Но как нам знать, как выглядит неискаженная реальность? Не может ли оказаться, что мы сами внутри большого аквариума и наше видение искажено гигантскими линзами? Картина реальности рыбки отличается от нашей, но можем ли мы быть уверены, что она менее реальна?

Зрительные образы золотой рыбки отличаются от наших, но она всё же могла бы формулировать научные законы движения объектов, наблюдаемых из своего аквариума. Например, из-за искажения, свободно движущийся объект, движущийся по прямой линии, за которым наблюдаем мы, для золотой рыбки будет казаться движущимся по кривой. Тем не менее, золотые рыбки могут вывести относительно их искаженной системы отсчета, свои, истинные для любых явлений научные законы, что

A FEW YEARS AGO the city council of Monza, Italy, barred pet owners from keeping goldfish in curved goldfish bowls. The measure's sponsor explained the measure in part by saying that it is cruel to keep a fish in a bowl with curved sides because, gazing out, the fish would have a distorted view of reality. But how do we know we have the true, undistorted picture of reality? Might not we ourselves also be inside some big goldfish bowl and have our vision distorted by an enormous lens? The goldfish's picture of reality is different from ours, but can we be sure it is less real?

The goldfish view is not the same as our own, but goldfish could still formulate scientific laws governing the motion of the objects they observe outside their bowl. For example, due to the distortion, a freely moving object that we would observe to move in a straight line would be observed by the goldfish to move along a curved path. Nevertheless, the goldfish could formulate scientific laws from their distorted frame of reference that would always hold true and that

дало бы им возможность прогнозирования движения объектов за пределами чаши. Ее законы будут сложнее, чем наши, но то, что просто для одного, может быть сложно другому. Если бы рыбка сформулировала такую теорию, то мы были бы обязаны допустить реальность ее картины мира.

Знаменитый пример разного видения реальности - модель описания движения астрономических тел, предложенная Птолемеем около 150 г н.э. Птолемей опубликовал свою работу в тринадцатикнижном трактате, более известным под своим арабским названием Альмагест. Альмагест начинается с объяснения причин полагать, что Земля шарообразна, неподвижна, находится в центре Вселенной и ничтожно мала в сравнении с расстоянием до небес. Несмотря на гелиоцентрическую модель Аристарха, эти убеждения поддерживались самыми образованными греками, как минимум, со времен Аристотеля, который верил в мистические причины нахождения Земли в центре Вселенной. В модели Птолемея Земля оставалась неподвижной в центре, а планеты и звёзды двигались вокруг неё по сложным орбитам, включающих

would enable them to make predictions about the future motion of objects outside the bowl. Their laws would be more complicated than the laws in our frame, but simplicity is a matter of taste. If a goldfish formulated such a theory, we would have to admit the goldfish's view as a valid picture of reality.

A famous example of different pictures of reality is the model introduced around AD 150 by Ptolemy (ca. 85—ca. 165) to describe the motion of the celestial bodies. Ptolemy published his work in a thirteen-book treatise usually known under its Arabic title, *Almagest*. The *Almagest* begins by explaining reasons for thinking that the earth is spherical, motionless, positioned at the center of the universe, and negligibly small in comparison to the distance of the heavens. Despite Aristarchus's heliocentric model, these beliefs had been held by most educated Greeks at least since the time of Aristotle, who believed for mystical reasons that the earth should be at the center of the universe. In Ptolemy's model the earth stood still at the center and the planets and the stars moved around it in complicated orbits involving



эпициклы, подобно движению колеса по колесу.



**Вселенная Птолемея.** На взгляд Птолемея, мы жили в центре Вселенной.

Модель казалась естественной, потому что мы не чувствуем движение земли под ногами (исключая случаи вроде землетрясения или переполнения эмоциями). Позднее

epicycles, like wheels on wheels.



**The Ptolemaic Universe** In Ptolemy's view, we lived at the center of the universe.

This model seemed natural because we don't feel the earth under our feet moving (except in earthquakes or moments of passion). Later

европейское учение было основано на греческих представлениях о мире, которые уже распространились. Так, идеи Аристотеля и Птолемея стали базисом для многих европейских мыслителей. Модели Вселенной Птолемея была принята Католической церковью и стала официальной доктриной на протяжении четырнадцати столетий. Так было до 1543 года, пока Коперник не предложил альтернативную модель в своей книге "*De revolutionibus orbium coelestium*" ("Об обращении небесных сфер"), опубликованной лишь в год его смерти (это при том, что работал он над своей теорией несколько десятков лет).

Коперник, как и Аристарх примерно за семнадцать веков до него, описал мир, где Солнце находится в состоянии покоя, а планеты обращаются вокруг него по круговым орбитам. Хотя идея и не была нова, ее возрождение встретило страстный отпор. Модель Коперника противоречила Библии, которая представлялась утверждающей, что планеты обращаются вокруг Земли, даже если Библия этого никогда прямо не заявляла. В сущности, в свое время Библия была написана людьми, которые считали Землю плоской. Модель Коперника привела к бурным дебатам по поводу того, действительно ли Земля неподвижна.

European learning was based on the Greek sources that had been passed down, so that the ideas of Aristotle and Ptolemy became the basis for much of Western thought. Ptolemy's model of the cosmos was adopted by the Catholic Church and held as official doctrine for fourteen hundred years. It was not until 1543 that an alternative model was put forward by Copernicus in his book *De revolutionibus orbium coelestium* (*On the Revolutions of the Celestial Spheres*), published only in the year of his death (though he had worked on his theory for several decades).

Copernicus, like Aristarchus some seventeen centuries earlier, described a world in which the sun was at rest and the planets revolved around it in circular orbits. Though the idea wasn't new, its revival was met with passionate resistance. The Copernican model was held to contradict the Bible, which was interpreted as saying that the planets moved around the earth, even though the Bible never clearly stated that. In fact, at the time the Bible was written people believed the earth was flat. The Copernican model led to a furious debate as to whether the earth was at rest,

Они достигли накала, когда Галилей в 1633 году за защиту модели Коперника, а также за мнение о том, что "можно придерживаться противного Священному Писанию мнения и защищать его как правдоподобное", был обвинен в ереси. Его признали виновным, посадили под домашний арест на всю оставшуюся жизнь и заставили отречься от своих взглядов. Как говорят, он пробормотал: "Eppur si muove" ("И все-таки она вертится!"). В 1992 году Римская Католическая Церковь наконец признала, что приговор Галилею был несправедлив.

Так какая же модель верна: система Птолемея или система Коперника? Хотя часто можно услышать, что Коперник доказал, будто Птолемей ошибается, это не так. Как и в случае обыкновенного для нас восприятия, противоречащего восприятию золотых рыбок, каждый может использовать чужую картину в качестве модели Вселенной, ибо наши наблюдения за небесами можно объяснить как тем, что Земля находится в состоянии покоя, так и тем, что в состоянии покоя находится Солнце. Забудем о роли системы Коперника в философских дебатах по поводу природы нашей Вселенной. Реальное преимущество этой системы заключается в том, что совокупность факторов движения будет гораздо проще в той схеме, где Солнце неподвижно.

culminating in Galileo's trial for heresy in 1633 for advocating the Copernican model, and for thinking "that one may hold and defend as probable an opinion after it has been declared and defined contrary to the Holy Scripture." He was found guilty, confined to house arrest for the rest of his life, and forced to recant. He is said to have muttered under his breath "*Eppur si muove*," "But still it moves." In 1992 the Roman Catholic Church finally acknowledged that it had been wrong to condemn Galileo.

So which is real, the Ptolemaic or Copernican system? Although it is not uncommon for people to say that Copernicus proved Ptolemy wrong, that is not true. As in the case of our normal view versus that of the goldfish, one can use either picture as a model of the universe, for our observations of the heavens can be explained by assuming either the earth or the sun to be at rest. Despite its role in philosophical debates over the nature of our universe, the real advantage of the Copernican system is simply that the equations of motion are much simpler in the frame of reference in which the sun is at rest.

Особый вид альтернативной реальности можно встретить в научно-фантастическом фильме "Матрица", где человечество неосознанно живет в моделируемой виртуальной реальности, созданной разумными компьютерами для того, чтобы подавить и усмирить людей, в то время как компьютеры питаются их биоэлектрической энергией (что бы под этим ни подразумевалось). Возможно, это не настолько неправдоподобно, потому что много людей предпочитают проводить свое время в моделируемой действительности веб-сайтов, таких как Вторая Жизнь. Как понять, что мы не персонажи мыльной оперы, постановщиком которой является компьютер? Если бы мы жили в синтетическом воображаемом мире, события не обязательно имели бы какую-то логику или последовательность или подчинялись законам. Инопланетяне-экспериментаторы могли бы найти занятным или забавным посмотреть на наши реакции, если, например, полная Луна расколется надвое или если люди со всего мира, сидящие на диете, вдруг почувствуют непреодолимую тягу к поеданию тортов с банановым кремом. Но если бы инопланетяне навязывали нам логичные законы, то мы не могли бы сказать, что есть иная реальность за этой, имитированной. Было бы легко назвать мир инопланетян "реальным", а синтетический - "ложным". Но если существа это симулированного мира не могут, как мы, увидеть

A different kind of alternative reality occurs in the science fiction film *The Matrix*, in which the human race is unknowingly living in a simulated virtual reality created by intelligent computers to keep them pacified and content while the computers suck their bioelectrical energy (whatever that is). Maybe this is not so far-fetched, because many people prefer to spend their time in the simulated reality of websites such as Second Life. How do we know we are not just characters in a computer-generated soap opera? If we lived in a synthetic imaginary world, events would not necessarily have any logic or consistency or obey any laws. The aliens in control might find it more interesting or amusing to see our reactions, for example, if the full moon split in half, or everyone in the world on a diet developed an uncontrollable craving for banana cream pie. But if the aliens did enforce consistent laws, there is no way we could tell there was another reality behind the simulated one. It would be easy to call the world the aliens live in the "real" one and the synthetic world a "false" one. But if—like us—the beings in the simulated world could not gaze into



свою Вселенную извне, для них не было бы причин сомневаться в своей картине мира. Это современная версия той мысли, что все мы - лишь персонажи чьего-то сна.

Эти примеры приводят нас к заключению, которое является важной частью этой книги: нет никакой картины (или теории) независимой концепции реальности. Вместо этого мы примем идею, которую назовем "модельно-зависимый реализм": идея, что физическая теория или картина мира - это модель (главным образом математической природы) и комплекс правил, которые соединяют элементы этой модели в наблюдении. Это создаст каркас для интерпретации современной науки.

their universe from the outside, there would be no reason for them to doubt their own pictures of reality. This is a modern version of the idea that we are all figments of someone else's dream.

These examples bring us to a conclusion that will be important in this book: *There is no picture- or theory-independent concept of reality*. Instead we will adopt a view that we will call model-dependent realism: the idea that a physical theory or world picture is a model (generally of a mathematical nature) and a set of rules that connect the elements of the model to observations. This provides a framework with which to interpret modern science.





*“Это запись. Не беспокойте меня. Я голограмма.”*

Со времен Платона философы спорят о природе реальности. Классическая наука основана на вере, что существует настоящий внешний мир, свойства которого точны и независимы для наблюдателя, воспринимающего их. Согласно классической науки, точные объекты существуют и имеют такие физические свойства, как скорость и масса, имеющие определенную величину. С этой точки зрения наши теории - попытки описать эти объекты и их свойства, и наши измерения и ощущения соответствуют



Philosophers from Plato onward have argued over the years about the nature of reality. Classical science is based on the belief that there exists a real external world whose properties are definite and independent of the observer who perceives them. According to classical science, certain objects exist and have physical properties, such as speed and mass, that have well-defined values. In this view our theories are attempts to describe those objects and their properties, and our measurements and perceptions correspond to

им. И наблюдатель и наблюдаемый является частями мира, у которого есть объективное существование, и какие-либо различия между ними не имеют значащего значения. Другими словами, если вы видите стадо зебр борющихся за место в гараже, это потому, что там действительно стадо зебр ведет борьбу за место в гараже. Все другие наблюдатели, которые оценивают, измерят те же самые свойства, и у стада будут те же свойства, независимо наблюдает кто-либо за ними или нет. В философии эту веру называют реализмом.

Хотя реализм может быть заманчивой точкой зрения, как мы увидим позже, но то, что мы знаем о современной физике, делает его трудным для защиты. Например, в соответствии с принципами квантовой механики, которая является точным описанием природы, частицы не имеют, как ни определенного положения в пространстве, так и ни определенной скорости и пока эти величины измеряются наблюдателем. Поэтому не будет правильным утверждение, что измерение дает определенный результат, потому что измеряемые величины не имеют смысла на момент измерения. Фактически, в некоторых случаях отдельные объекты даже не имеют независимого существования,

them. Both observer and observed are parts of a world that has an objective existence, and any distinction between them has no meaningful significance. In other words, if you see a herd of zebras fighting for a spot in the parking garage, it is because there really is a herd of zebras fighting for a spot in the parking garage. All other observers who look will measure the same properties, and the herd will have those properties whether anyone observes them or not. In philosophy that belief is called realism.

Though realism may be a tempting viewpoint, as we'll see later, what we know about modern physics makes it a difficult one to defend. For example, according to the principles of quantum physics, which is an accurate description of nature, a particle has neither a definite position nor a definite velocity unless and until those quantities are measured by an observer. It is therefore *not* correct to say that a measurement gives a certain result because the quantity being measured had that value at the time of the measurement. In fact, in some cases individual objects don't even have an independent existence

а скорее существуют как часть ансамбля многих частиц. И, если теория, называемая "голографическим принципом", окажется верной, то мы и наш четырехмерный мир можем быть тенью на границе большего мира, пятимерного пространственно-временного континуума. В этом случае, наш статус во Вселенной аналогичен статусу золотой рыбки.

Строгие реалисты часто утверждают, что доказательство этих научных теорий представляет действительность, в чем и заключается их успешность. Но различные теории могут успешно описывать те же феномены через несоизмеримые концептуальные структуры. Фактически, многие научные теории, которые оказались успешными, позднее были заменены другими, одинаково успешными теориями, основанные на более новых понятиях реальности.

Традиционно, те, кто не принимает реализм, именуется анти-реалистами. Анти-реалисты указывают на различия между эмпирическим знанием и теорией. Как правило, они утверждают, что наблюдение и эксперимент являются содержательными, а теории являются не более, чем полезными инструментами, которые не заключают в себе каких-либо более глубоких истин, лежащих в основе наблюдаемых явлений. Некоторые антиреалисты даже хотели свести всю науку

but rather exist only as part of an ensemble of many. And if a theory called the holographic principle proves correct, we and our four-dimensional world may be shadows on the boundary of a larger, five-dimensional space-time. In that case, our status in the universe is analogous to that of the goldfish.

Strict realists often argue that the proof that scientific theories represent reality lies in their success. But different theories can successfully describe the same phenomenon through disparate conceptual frameworks. In fact, many scientific theories that had proven successful were later replaced by other, equally successful theories based on wholly new concepts of reality.

Traditionally those who didn't accept realism have been called anti-realists. Anti-realists suppose a distinction between empirical knowledge and theoretical knowledge. They typically argue that observation and experiment are meaningful but that theories are no more than useful instruments that do not embody any deeper truths underlying the observed phenomena. Some anti-realists have even wanted to restrict science

только к объективно наблюдаемым явлениями. По этой причине, в девятнадцатом веке многие отклоняли гипотезу об атомах на основании того, что нам никогда не удавалось увидеть ни один из них. Джордж Беркли (1685-1753) даже пришел к тому, что не существует ничего, кроме разума и его мыслей. Когда друг английского автора и лексикографа доктора Самюэля Джонсона (1709-1784) заметил, что утверждение Беркли не может быть опровергнуто, то Джонсон, как утверждают, ответил, подойдя к большому камню, пнув его, и объявив, "Я отвергаю это таким образом". Конечно боль в ноге, которую почувствовал доктор Джонсон, тоже была идеей в его голове, поэтому он действительно не опроверг доводов Беркли. Но его действие проиллюстрировало взгляды философа Дэвида Юма (1711-1776), который писал, что хотя мы и не имеем рациональных основ для веры в объективную реальность, мы также не имеем другого выбора, кроме того, чтобы действовать так, словно это истина.

Модельно-зависимый реализм кратко завершает весь этот спор и обсуждение между школой реалистов и анти-реалистов.

to things that can be observed. For that reason, many in the nineteenth century rejected the idea of atoms on the grounds that we would never see one. George Berkeley (1685–1753) even went as far as to say that nothing exists except the mind and its ideas. When a friend remarked to English author and lexicographer Dr. Samuel Johnson (1709–1784) that Berkeley's claim could not possibly be refuted, Johnson is said to have responded by walking over to a large stone, kicking it, and proclaiming, "I refute it thus." Of course the pain Dr. Johnson experienced in his foot was also an idea in his mind, so he wasn't really refuting Berkeley's ideas. But his act did illustrate the view of philosopher David Hume (1711–1776), who wrote that although we have no rational grounds for believing in an objective reality, we also have no choice but to act as if it is true.

Model-dependent realism short-circuits all this argument and discussion between the realist and anti-realist schools of thought.





*“У Вас обоих есть что-то общее. Доктор Дэвис обнаружил частицу, которую никто не видел, а профессор Хигб обнаружил галактику, которую никто не видел.”*

Согласно модельно-зависимому реализму, бессмысленно спрашивать является ли модель реалистичной без того, насколько она согласуется с наблюдениями. Если существуют две такие модели, которые согласуются с наблюдениями, подобно картинам золотой рыбки и нашей, тогда нельзя сказать, какая из этих моделей является более реалистичной. В этом случае можно использовать любую модель, которая является более пригодной в конкретной ситуации, в соответствии с тем или иными соображениями. Например, если бы кто-то находился внутри шара, изображение золотой рыбки было бы полезным, но для тех, кто находится снаружи, должно было бы быть очень



*“You both have something in common. Dr. Davis has discovered a particle which nobody has seen, and Prof. Higbe has discovered a galaxy which nobody has seen.”*

According to model-dependent realism, it is pointless to ask whether a model is real, only whether it agrees with observation. If there are two models that both agree with observation, like the goldfish's picture and ours, then one cannot say that one is more real than another. One can use whichever model is more convenient in the situation under consideration. For example, if one were inside the bowl, the goldfish's picture would be useful, but for those outside, it would be very



неудобно описывать события из далекой галактики в рамках шара на Земле, особенно потому, как шар должен будет двигаться так, как Земля обращается вокруг Солнца и вращается по своей оси.

Мы строим модели не только в науке, но и в нашей повседневной жизни. Модельно-зависимый реализм относится не только к научным моделям, но также и к сознательным и подсознательным мысленным моделям, которые все мы создаем, чтобы интерпретировать и понять ежедневный мир. Невозможно убрать наблюдателя - нас - из нашего восприятия мира, которое создается с помощью наших чувственных восприятий и способа нашего мышления, рассуждения. Наше восприятие - а следовательно, наблюдения, на которых базируются наши теории - не прямое, а скорее формируется сквозь своеобразную линзу, интерпретативную структуру человеческого мозга.

Модельно-зависимый реализм соответствует нашему способу восприятия объектов. В зрении мозг человека принимает серию сигналов через оптический нерв. Эти сигналы не образуют такую картинку, которую вы бы приняли на ваш телевизор. В человеческом глазу есть слепое пятно в том месте, где оптический нерв крепится к сетчатке, а единственная часть вашего поля зрения с

awkward to describe events from a distant galaxy in the frame of a bowl on earth, especially because the bowl would be moving as the earth orbits the sun and spins on its axis.

We make models in science, but we also make them in everyday life. Model-dependent realism applies not only to scientific models but also to the conscious and subconscious mental models we all create in order to interpret and understand the everyday world. There is no way to remove the observer—us—from our perception of the world, which is created through our sensory processing and through the way we think and reason. Our perception—and hence the observations upon which our theories are based—is not direct, but rather is shaped by a kind of lens, the interpretive structure of our human brains.

Model-dependent realism corresponds to the way we perceive objects. In vision, one's brain receives a series of signals down the optic nerve. Those signals do not constitute the sort of image you would accept on your television. There is a blind spot where the optic nerve attaches to the retina, and the only part of your field of vision with

хорошим разрешением - это узкая площадь в 1 градус зрительного угла вокруг центра сетчатки, шириной в большой палец вытянутой вперед руки. Таким образом, исходный сигнал, поступающий в мозг, является низкокачественной картинкой с дыркой в ней. К счастью, наш мозг способен обрабатывать этот сигнал, сочетая информацию от обоих глаз, заполняя слепые промежутки (исходя из того предположения, что свойства соседних участков похожи), и собирая картинку воедино (интерполируя). Более того, он считывает двухмерный поток данных с сетчатки и создает из него ощущение трехмерного пространства. Другими словами, мозг создает мысленную картину или модель.

Наш мозг так хорошо моделирует реальность, что если бы люди, носящие очки, перевернули в них изображение вверх ногами, то их мозги через некоторое время изменили модель мира, и очкарики видели бы все так же, как и прежде. Если они снимут очки, они снова увидят перевернутый мир, а потом снова адаптируются. Это иллюстрирует то, что имеет в виду человек, когда говорит: "Я вижу кресло", и который всего-навсего использовал свет, рассеянный креслом, чтобы создать изображение или модель этого кресла у себя в голове. В случае, если модель перевернута, то если повезет, мозг

good resolution is a narrow area of about 1 degree of visual angle around the retina's center, an area the width of your thumb when held at arm's length. And so the raw data sent to the brain are like a badly pixilated picture with a hole in it. Fortunately, the human brain processes that data, combining the input from both eyes, filling in gaps on the assumption that the visual properties of neighboring locations are similar and interpolating. Moreover, it reads a two-dimensional array of data from the retina and creates from it the impression of three-dimensional space. The brain, in other words, builds a mental picture or model.

The brain is so good at model building that if people are fitted with glasses that turn the images in their eyes upside down, their brains, after a time, change the model so that they again see things the right way up. If the glasses are then removed, they see the world upside down for a while, then again adapt. This shows that what one means when one says "I see a chair" is merely that one has used the light scattered by the chair to build a mental image or model of the chair. If the model is upside down, with luck one's brain will

исправит это до того, как человек сядет в кресло.

Другая проблема, которую модельно-ориентированный реализм пытается решить (или, как минимум, избежать) - это значение "существования". Как я узнаю, существует ли стол в данной комнате, если я выйду из нее и не смогу его видеть? Что будет значить утверждение о том, что предметы, которых мы не видим, такие как электроны или кварки (частицы, и которых, как считается, состоят протоны и нейтроны) - существуют? Кто-то мог бы придерживаться модели, когда стол исчезает, когда я выхожу из комнаты, появляется вновь, когда я возвращаюсь, но это было бы очень грубо. И что было бы, если бы потолок обрушился, когда я вышел из комнаты? Каким же образом в рамках модели "Стол-исчезает-когда-я-выхожу-из-комнаты" я мог бы объяснить то, что когда я вошел в комнату, стол возник заново - разломанный и под обломками потолка? Модель, в которой стол никуда не исчезает, является гораздо более простой, а также гармоничной с наблюдением. Это все, что можно спросить.

В ситуации, когда мы не можем увидеть субатомные частицы, электроны являются удобной моделью, объясняющей такие наблюдения, как следы в конденсационной камере или световые точки на экране телевизора, а также многие иные явления. Говорят, что электрон

correct it before one tries to sit on the chair.

Another problem that model-dependent realism solves, or at least avoids, is the meaning of existence. How do I know that a table still exists if I go out of the room and can't see it? What does it mean to say that things we can't see, such as electrons or quarks—the particles that are said to make up the proton and neutron—exist? One could have a model in which the table disappears when I leave the room and reappears in the same position when I come back, but that would be awkward, and what if something happened when I was out, like the ceiling falling in? How, under the table-disappears-when-I-leave-the-room model, could I account for the fact that the next time I enter, the table reappears broken, under the debris of the ceiling? The model in which the table stays put is much simpler and agrees with observation. That is all one can ask.

In the case of subatomic particles that we can't see, electrons are a useful model that explains observations like tracks in a cloud chamber and the spots of light on a television tube, as well as many other phenomena. It is said that the electron

был открыт в 1897 году физиком Томпсоном в лаборатории Кавендиш в Университете Кембридж. Он экспериментировал с электрическим током в стеклянных трубках - феноменом, называемым катодные лучи. Эксперименты привели его к смелому заключению о том, что загадочные лучи состояли из мельчайших "корпускулов", которые являлись материальными составляющими частями атомов, прежде считавшимися неделимыми фундаментальными элементами материи. Томсон не "увидел" электрон, так же как и его предположение не было прямо или однозначно продемонстрировано экспериментами. Но модель оказалась ключевой в применении от фундаментальной до прикладной науки, и сегодня все физики уверены в существовании электронов, даже если вы их не видите.

was discovered in 1897 by British physicist J. J. Thomson at the Cavendish Laboratory at Cambridge University. He was experimenting with currents of electricity inside empty glass tubes, a phenomenon known as cathode rays. His experiments led him to the bold conclusion that the mysterious rays were composed of minuscule "corpuscles" that were material constituents of atoms, which were then thought to be the indivisible fundamental unit of matter. Thomson did not "see" an electron, nor was his speculation directly or unambiguously demonstrated by his experiments. But the model has proved crucial in applications from fundamental science to engineering, and today all physicists believe in electrons, even though you cannot see them.





**Катодные Лучи.** Мы не можем видеть отдельные электроны, но мы можем наблюдать производимые ими эффекты.

Кварки, которые мы также не можем наблюдать, добавлены в модель, чтобы объяснить свойства протонов и нейтронов в ядре атома. Хотя протоны и нейтроны, как утверждается, состоят из кварков, мы никогда экспериментально не обнаружим кварки, потому что притягивающие силы между кварками увеличиваются при их отдалении друг от друга, и поэтому несвязанные, свободные кварки не могут существовать в природе. Они всегда проявляются в



**Cathode Rays** We can't see individual electrons, but we can see effects they produce.

Quarks, which we also cannot see, are a model to explain the properties of the protons and neutrons in the nucleus of an atom. Though protons and neutrons are said to be made of quarks, we will never observe a quark because the binding force between quarks increases with separation, and hence isolated, free quarks cannot exist in nature. Instead, they always occur in



группах из трех (протоны и нейтроны) кварков, или парами: кварк и антикварк (пи-мезон), и ведут себя так, как если бы были соединены резинкой.

И вопрос "имеет ли смысл говорить, что кварки реально существуют, если вы никогда не сможете выделить один кварк?" был спорным долгие годы после того как кварковая модель была впервые предложена. Идея о том, что определенные частицы состоят из различных комбинаций нескольких более простых частиц, позволила создать принципы, которые в результате дали простое и привлекательное объяснение их свойств. Но не смотря на то, что физики привыкли рассматривать частицы, существование которых подразумевалось только в статистических всплесках данных по разбиению других частиц, идея представления реальности частицы, которая в принципе не поддаётся наблюдению, была чересчур невероятна для многих физиков. Однако, спустя годы, когда кварковая модель стала приводить к более и более правильным предсказаниям, противников этой модели стало меньше. Конечно возможно, что какие-нибудь инопланетные существа с семнадцатью руками, инфракрасными глазами, и привычкой выдувать взбитые сливки из ушей сделает те же экспериментальные исследования что и мы, но опишет их без использования кварков. Тем не менее,

groups of three (protons and neutrons), or in pairings of a quark and an anti-quark (pi mesons), and behave as if they were joined by rubber bands.

The question of whether it makes sense to say quarks really exist if you can never isolate one was a controversial issue in the years after the quark model was first proposed. The idea that certain particles were made of different combinations of a few sub-subnuclear particles provided an organizing principle that yielded a simple and attractive explanation for their properties. But although physicists were accustomed to accepting particles that were only inferred to exist from statistical blips in data pertaining to the scattering of other particles, the idea of assigning reality to a particle that might be, in principle, unobservable was too much for many physicists. Over the years, however, as the quark model led to more and more correct predictions, that opposition faded. It is certainly possible that some alien beings with seventeen arms, infrared eyes, and a habit of blowing clotted cream out their ears would make the same experimental observations that we do, but describe them without quarks. Nevertheless,

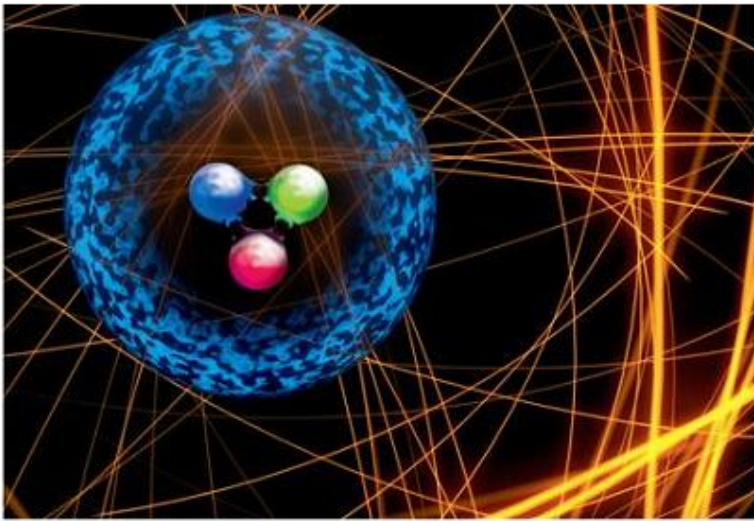
согласно моделезависимому реализму, кварки существуют в модели, которая согласуется с нашими наблюдениями поведения субатомных частиц.

Моделезависимый реализм может создать среду для вопросов, таких как: если мир был создан определенное время назад, то что происходило до этого? Философ времен раннего христианства, Св. Августин (354-430), говорил, что ответ не в том, готовил ли Бог ад для людей, задающих такие вопросы, а в том, что время принадлежит миру, который Бог создал, и время не существовало до момента сотворения, которое, как он верил, состоялось не так давно. Это одна из возможных моделей, которая одобрена теми, кто утверждает, что запись, сделанная в книге Бытия буквально верна, даже при том, что мир содержит ископаемые и другие доказательства того, что Земля гораздо старше. (Они были помещены там, чтобы одурачить нас?) Кто-то также может иметь другую модель, в которой от начала Большого Взрыва прошло 13.7 миллиардов лет. Модель, объясняющая большую часть наших современных наблюдений, включая исторические и археологические свидетельства, является лучшим представлением о прошлом из всех, что мы имеем. Вторая модель может объяснить

according to model-dependent realism, quarks exist in a model that agrees with our observations of how subnuclear particles behave.

Model-dependent realism can provide a framework to discuss questions such as: If the world was created a finite time ago, what happened before that? An early Christian philosopher, St. Augustine (354–430), said that the answer was not that God was preparing hell for people who ask such questions, but that time was a property of the world that God created and that time did not exist before the creation, which he believed had occurred not that long ago. That is one possible model, which is favored by those who maintain that the account given in Genesis is literally true even though the world contains fossil and other evidence that makes it look much older. (Were they put there to fool us?) One can also have a different model, in which time continues back 13.7 billion years to the big bang. The model that explains the most about our present observations, including the historical and geological evidence, is the best representation we have of the past. The second model can explain

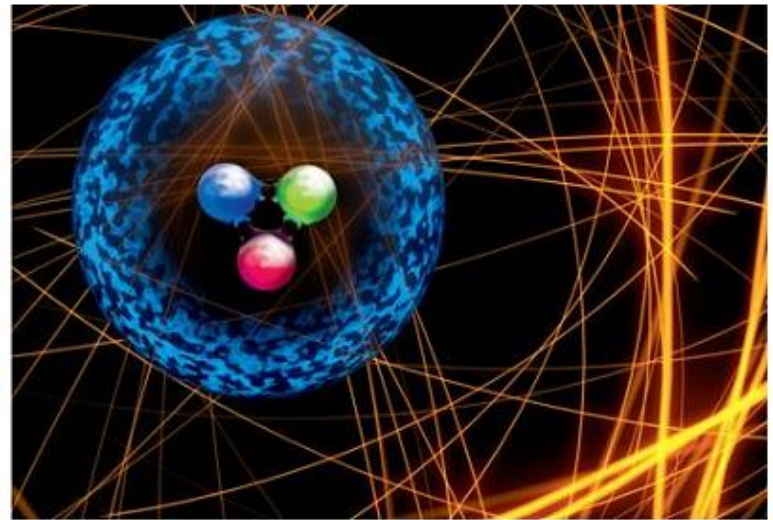
ископаемые и радиоактивные свидетельства, и тот факт, что мы принимаем свет от галактик, до которых миллионы световых лет, так что эта модель - теория Большого Взрыва - более полезна, чем первая. До сих пор ни одну из моделей нельзя назвать более реальной, чем другая.



**Кварки.** Понятие кварка - жизненный элемент наших теорий фундаментальной физики даже при том, что отдельный кварк не может быть наблюдаем.

Некоторые придерживаются модели, где время началось даже раньше Большого Взрыва. Все еще не ясно

the fossil and radioactive records and the fact that we receive light from galaxies millions of light-years from us, and so this model—the big bang theory—is more useful than the first. Still, neither model can be said to be more real than the other.



**Quarks** The concept of quarks is a vital element of our theories of fundamental physics even though individual quarks cannot be observed.

Some people support a model in which time goes back even further than the big bang. It is not



может ли модель, в которой время шло и до Большого Взрыва, лучше объяснять текущие исследования, потому что законы развития Вселенной, видимо, разрушаются в момент Большого Взрыва. Если это так, то нет никакого смысла создавать модель описывающую время до Большого Взрыва, потому что все что существовало тогда, не будет иметь наблюдаемых последствий в настоящем, поэтому мы можем остановиться на идее о том что Большой Взрыв был моментом создания мира.

Модель хорошая модель, если она:

1. Изящна
2. Содержит мало произвольных или регулируемых элементов
3. Согласуется со всеми существующими наблюдениями и объясняет их.
4. Делает подробные прогнозы относительно будущих наблюдений, которые могут опровергнуть или доказать ложность модели, если они не подтвердились.

Например, теория Аристотеля, о том, что мир состоит из четырех элементов: земли, воздуха, огня и воды, и что объекты стремящиеся осуществить свои

yet clear whether a model in which time continued back beyond the big bang would be better at explaining present observations because it seems the laws of the evolution of the universe may break down at the big bang. If they do, it would make no sense to create a model that encompasses time before the big bang, because what existed then would have no observable consequences for the present, and so we might as well stick with the idea that the big bang was the creation of the world.

A model is a good model if it:

1. Is elegant
2. Contains few arbitrary or adjustable elements
3. Agrees with and explains all existing observations
4. Makes detailed predictions about future observations that can disprove or falsify the model if they are not borne out.

For example, Aristotle's theory that the world was made of four elements, earth, air, fire, and water, and that objects acted to fulfill their

назначения были изящны и не содержали изменяемых элементов. Но во многих случаях теория не давала определенных предсказаний, а если и давала, то они не всегда соответствовали наблюдениям. Одним из этих предсказаний было то, что более тяжелые объекты должны падать быстрее, потому что их цель - падение. До Галилео никто и не думал, что это нужно проверить. Существует история, что он проверял это, бросая грузы различной массы с Пизанской ("падающей") башни. Скорее всего, это легенда, но мы точно знаем, что он скатывал шары различной массы по наклонному желобу и заметил, что они скатывались с одинаковой скоростью, вопреки предсказанию Аристотеля.

Вышеупомянутый критерий очевидно субъективный. Изящество, например, это не то что можно просто измерить, но оно высоко ценится среди ученых, потому что законы природы стремятся экономно сократить число определенных ситуаций в одну простую формулу. Изящество относится к форме теории, но оно также тесно связано с недостатком изменяемых элементов, так как теория, сжатая вымышленными коэффициентами не очень элегантна. Перефразируя Эйнштейна, теория должна быть настолько простой, насколько это возможно,

purpose was elegant and didn't contain adjustable elements. But in many cases it didn't make definite predictions, and when it did, the predictions weren't always in agreement with observation. One of these predictions was that heavier objects should fall faster because their purpose is to fall. Nobody seemed to have thought that it was important to test this until Galileo. There is a story that he tested it by dropping weights from the Leaning Tower of Pisa. This is probably apocryphal, but we do know he rolled different weights down an inclined plane and observed that they all gathered speed at the same rate, contrary to Aristotle's prediction.

The above criteria are obviously subjective. Elegance, for example, is not something easily measured, but it is highly prized among scientists because laws of nature are meant to economically compress a number of particular cases into one simple formula. Elegance refers to the form of a theory, but it is closely related to a lack of adjustable elements, since a theory jammed with fudge factors is not very elegant. To paraphrase Einstein, a theory should be as simple as possible,



но не проще. Птолемей добавлял эпициклы к круговым орбитам небесных тел для того, чтобы его модель могла точно описывать их движение. Модель можно было сделать более точной путем добавления эпициклов к эпициклам, а к ним еще эпициклов. Хотя добавленное усложнение может сделать теорию более точной, ученые рассматривают модель, искаженную чтобы совпадать с определенными наблюдениями, как неудовлетворительную, больше похожую на каталог данных, чем на теорию, удачно воплощающую какой-либо полезный принцип.

В Разделе 5 мы увидим, что многие люди рассматривают "стандартную модель", описывающую взаимодействия элементарных частиц природы, как неэлегантную. Эта модель более удачная, чем Птолемеи́евские эпициклы. Она предсказала существование нескольких новых частиц до того как они были обнаружены, и с большой точностью описала результаты множества экспериментов в течение нескольких десятилетий. Но она содержит дюжины изменяемых параметров, чьи величины должны быть скорее установлены, чтобы совпасть с наблюдениями, чем определены самой теорией.

Согласно четвертому пункту, ученые всегда

but not simpler. Ptolemy added epicycles to the circular orbits of the heavenly bodies in order that his model might accurately describe their motion. The model could have been made more accurate by adding epicycles to the epicycles, or even epicycles to those. Though added complexity could make the model more accurate, scientists view a model that is contorted to match a specific set of observations as unsatisfying, more of a catalog of data than a theory likely to embody any useful principle.

We'll see in Chapter 5 that many people view the "standard model," which describes the interactions of the elementary particles of nature, as inelegant. That model is far more successful than Ptolemy's epicycles. It predicted the existence of several new particles before they were observed, and described the outcome of numerous experiments over several decades to great precision. But it contains dozens of adjustable parameters whose values must be fixed to match observations, rather than being determined by the theory itself.

As for the fourth point, scientists are always

впечатлены, когда новые и ошеломляющие предсказания доказаны верно. С другой стороны, когда обнаруживается, что модель имеет недостатки, обычная реакция — это заявить, что эксперимент неверен. Если не доказывается что это случайность, люди обычно не отказываются от модели, пытаясь вместо этого сохранить ее в модифицированном виде. Хотя физики, несомненно, упорны в своих попытках спасти теории, которыми они восхищаются, стремление модифицировать теорию исчезает, отчасти из-за того что преобразования становятся неестественными или громоздкими, и, следовательно, неэлегантными.

Если модификации необходимые для приспособления новых наблюдений, становятся слишком причудливыми, это сигнализирует о потребности в новой модели. Одним из примеров старой модели, которая уступила дорогу под весом новых наблюдений, была идея статической Вселенной. В 1920-х годах, большинство физиков считали, что Вселенная была статичной, или неизменного размера. Тогда, в 1929 году Эдвин Хаббл опубликовал свои наблюдения, показывающие, что Вселенная расширяется. Но Хаббл не непосредственно наблюдал расширение Вселенной. Он наблюдал свет, излучаемый галактиками. Этот свет содержит характерный признак, или спектр, основанный на составе каждой галактики,

impressed when new and stunning predictions prove correct. On the other hand, when a model is found lacking, a common reaction is to say the experiment was wrong. If that doesn't prove to be the case, people still often don't abandon the model but instead attempt to save it through modifications. Although physicists are indeed tenacious in their attempts to rescue theories they admire, the tendency to modify a theory fades to the degree that the alterations become artificial or cumbersome, and therefore "inelegant."

If the modifications needed to accommodate new observations become too baroque, it signals the need for a new model. One example of an old model that gave way under the weight of new observations was the idea of a static universe. In the 1920s, most physicists believed that the universe was static, or unchanging in size. Then, in 1929, Edwin Hubble published his observations showing that the universe is expanding. But Hubble did not directly observe the universe expanding. He observed the light emitted by galaxies. That light carries a characteristic signature, or spectrum, based on each galaxy's

который изменяется на известную заранее величину, если галактика движется относительно нас. То есть, анализируя спектр отдаленных галактик, Хаббл мог определить их скорости. Ожидалось, что он обнаружит столько же приближающихся галактик, сколько и отдаляющихся. Но вместо этого он обнаружил, что все галактики отдаляются от нас, причем, чем дальше они расположены, тем быстрее они отдаляются. Хаббл подтвердил, что Вселенная расширяется, но другие, пытаясь придерживаться ранних моделей, пытались объяснить его наблюдения в контексте теории статической Вселенной. Например, Фриц Цвики, физик из калифорнийского технологического института, предположил, что по какой-то неизвестной причине свет может терять свою энергию при прохождении огромных расстояний. Это уменьшение энергии соответствует изменению светового спектра, что по мнению Цвики может объяснить наблюдения Хаббла. В течение десятилетий после исследований Хаббла ученые продолжали придерживаться теории стабильного развития. Несмотря на это, теория расширяющейся Вселенной, подтвержденная Хабблом, становится общепризнанной.

В наших поисках законов, управляющих

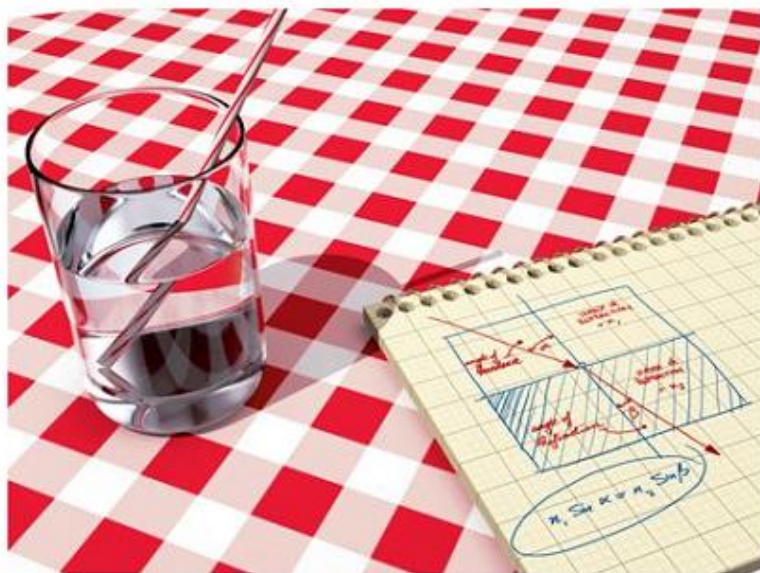
composition, which changes by a known amount if the galaxy is moving relative to us. Therefore, by analyzing the spectra of distant galaxies, Hubble was able to determine their velocities. He had expected to find as many galaxies moving away from us as moving toward us. Instead he found that nearly all galaxies were moving away from us, and the farther away they were, the faster they were moving. Hubble concluded that the universe is expanding, but others, trying to hold on to the earlier model, attempted to explain his observations within the context of the static universe. For example, Caltech physicist Fritz Zwicky suggested that for some yet unknown reason light might slowly lose energy as it travels great distances. This decrease in energy would correspond to a change in the light's spectrum, which Zwicky suggested could mimic Hubble's observations. For decades after Hubble, many scientists continued to hold on to the steady-state theory. But the most natural model was Hubble's, that of an expanding universe, and it has come to be the accepted one.

In our quest to find the laws that govern the

Вселенной были сформированы теории, или модели, такие как четырехэлементная теория, Птолемея теория, теория флогистона, теория Большого Взрыва, и т.п. С каждой новой теорией или моделью наши представления о реальности и о фундаментальных составляющих Вселенной изменились. Например, рассмотрим теорию строения света. Ньютон полагал, что свет состоит из маленьких частиц или корпускул. Это объяснило бы, почему свет распространяется по прямой, и Ньютон также использовал это, чтобы объяснить, почему свет отклоняется или отражается, когда он проходит из одной среды к другой, как, например, из воздуха к стеклу, или из воздуха в воду.

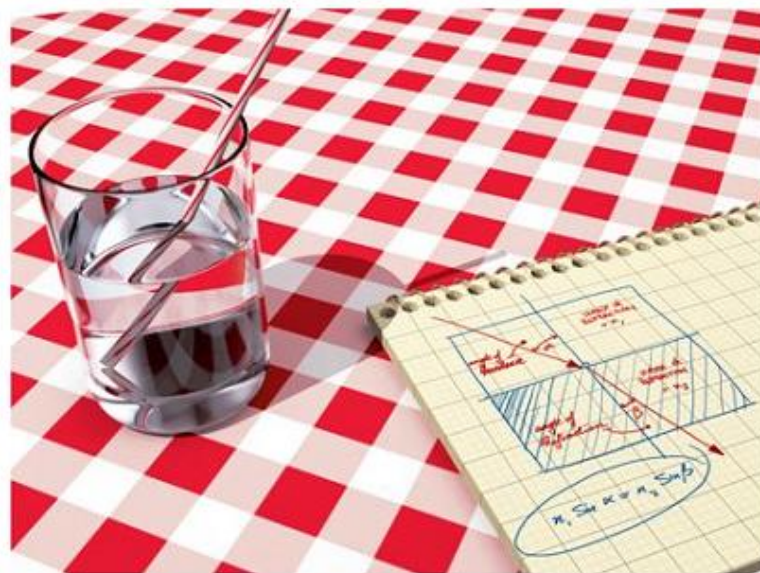
universe we have formulated a number of theories or models, such as the four-element theory, the Ptolemaic model, the phlogiston theory, the big bang theory, and so on. With each theory or model, our concepts of reality and of the fundamental constituents of the universe have changed. For example, consider the theory of light. Newton thought that light was made up of little particles or corpuscles. This would explain why light travels in straight lines, and Newton also used it to explain why light is bent or refracted when it passes from one medium to another, such as from air to glass or air to water.





**Рефракция.** Ньютоновская модель света может объяснить, почему свет преломляется, проходя из одной среды в другую, но она не может объяснять другое явление, которое мы сейчас называем кольцами Ньютона.

Не смотря на это, корпускулярная теория не смогла объяснить увиденный Ньютоном феномен, известный как круги Ньютона. Положите линзу на плоскую отражающую поверхность и осветите её одноцветным лучом, таким как натриевый луч. Смотря сверху можно увидеть несколько светлых и темных колец, расположенных в



**Refraction** Newton's model of light could explain why light bent when it passed from one medium to another, but it could not explain another phenomenon we now call Newton's rings.

The corpuscle theory could not, however, be used to explain a phenomenon that Newton himself observed, which is known as Newton's rings. Place a lens on a flat reflecting plate and illuminate it with light of a single color, such as a sodium light. Looking down from above, one will see a series of light and dark rings centered on



месте соприкосновения линзы и поверхности. Это сложно объяснить, используя теорию света, но можно рассмотреть, используя волновую теорию.

Согласно волновой теории, появление светлых и темных колец вызвано феноменом называемым интерференцией. Любая волна, так же как водяная волна, состоит из серии гребней и впадин. Если при столкновении волн гребни и впадины совпадают, они усиливают друг друга, сливаясь в волну большего размера. Это называется усиливающей интерференцией. В таком случае говорят что волны "в фазе". В противоположном случае, когда волны столкнутся, гребень одной волны может совпасть с впадиной другой волны. Тогда они гасят друг друга, попадают "не в фазу". Эта ситуация называется гасящей интерференцией.

На кругах Ньютона светлые кольца находятся на определенных расстояниях от центра линзы, где линза и отражающая плоскость отдалены так, что волна отраженная от линзы, отличается от волны отраженной плоскостью на целое(1, 2, 3, ...) число длин волн, создавая, таким образом, усиливающую интерференцию. (Длина волны - это расстояние между гребнями или впадинами

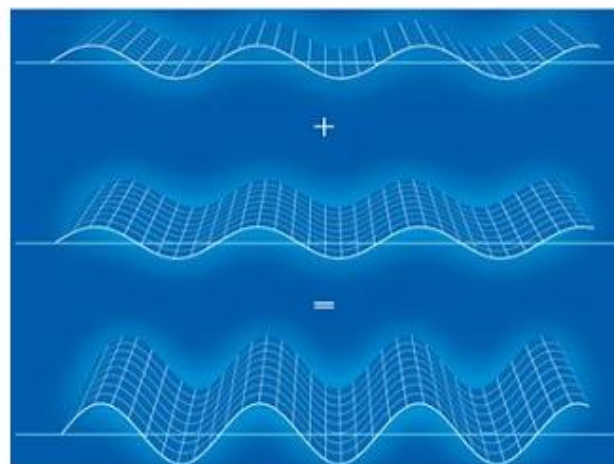
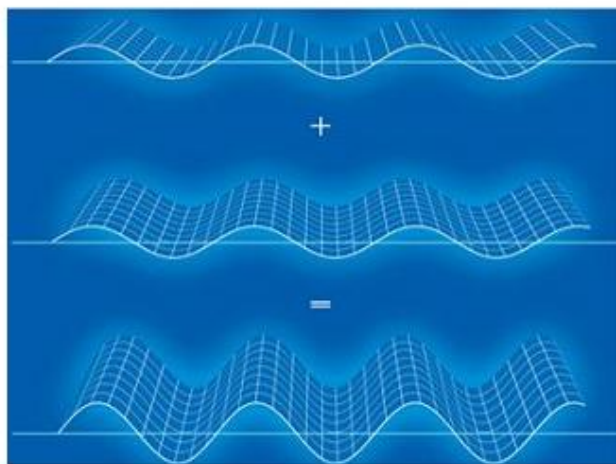
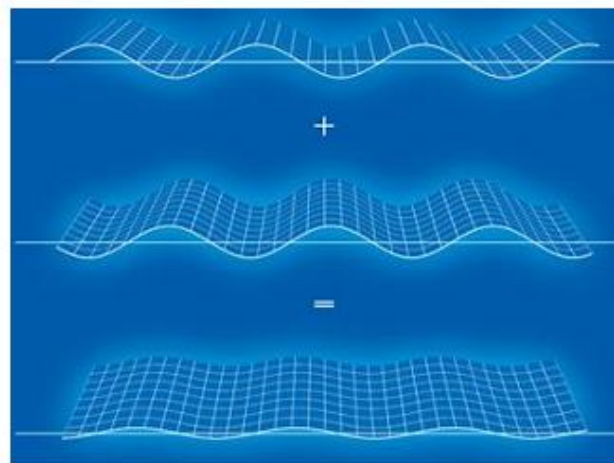
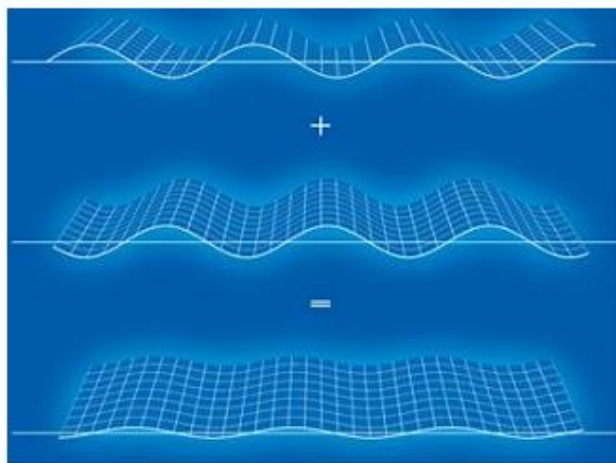
where the lens touches the surface. This would be difficult to explain with the particle theory of light, but it can be accounted for in the wave theory.

According to the wave theory of light, the light and dark rings are caused by a phenomenon called interference. A wave, such as a water wave, consists of a series of crests and troughs. When waves collide, if those crests and troughs happen to correspond, they reinforce each other, yielding a larger wave. That is called constructive interference. In that case the waves are said to be "in phase." At the other extreme, when the waves meet, the crests of one wave might coincide with the troughs of the other. In that case the waves cancel each other and are said to be "out of phase." That situation is called destructive interference.

In Newton's rings the bright rings are located at distances from the center where the separation between the lens and the reflecting plate is such that the wave reflected from the lens differs from the wave reflected from the plate by an integral (1, 2, 3,...) number of wavelengths, creating constructive interference. (A wavelength is the distance between one crest or trough of a wave

соседних волн.) С другой стороны, темные кольца расположены на таких расстояниях от центра, где разница между двумя отраженными волнами равна полуцелому ( $1/2$ ,  $1\ 1/2$ ,  $2\ 1/2$ ,...) числу длин волн, что создает гасящую интерференцию - волна, отраженная от линзы гасит волну, отраженную от плоскости.

and the next.) The dark rings, on the other hand, are located at distances from the center where the separation between the two reflected waves is a half-integral ( $1/2$ ,  $1\ 1/2$ ,  $2\ 1/2$ ,...) number of wavelengths, causing destructive interference—the wave reflected from the lens cancels the wave reflected from the plate.



**Интерференция.** Подобно людям, когда волны встречаются, они могут увеличивать или уменьшать друг друга.

**Interference** Like people, when waves meet they can tend to either enhance or diminish each other.

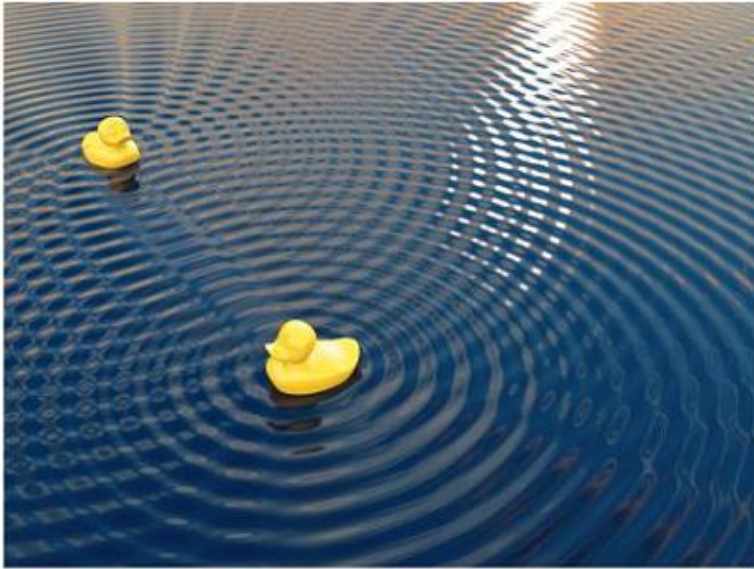
В девятнадцатом веке это послужило доказательством волновой теории света, показывая, что корпускулярная теория была неверна. Тем не менее, в начале двадцатого века Эйнштейн показал, что фотоэлектрический эффект (который сейчас используется в телевидении и цифровых камерах) можно объяснить тем, что частица или квант света ударяется об атом, выбивая при этом электрон. Таким образом, свет имеет свойства как частицы, так и волны.

Концепция волн, возможно, так прочно вошла в сознание из-за того, что люди могли наблюдать океан или лужу, когда в неё бросают камень. Фактически, если вы когда-нибудь бросали два камня в лужу, вы возможно наблюдали интерференцию в действии, как на иллюстрации выше. Другие жидкости ведут себя таким же образом, кроме, разве что, вина, если выпьете его слишком много. Корпускулярная теория была сродни камням, гальке и песку. Но этот корпускулярно-волновой дуализм - идея о том, что объект может быть описан и как частица, и как волна - чужд для повседневного опыта, как идея о том, что можно выпить кусок песчаника.

In the nineteenth century, this was taken as confirming the wave theory of light and showing that the particle theory was wrong. However, early in the twentieth century Einstein showed that the photoelectric effect (now used in television and digital cameras) could be explained by a particle or quantum of light striking an atom and knocking out an electron. Thus light behaves as both particle and wave.

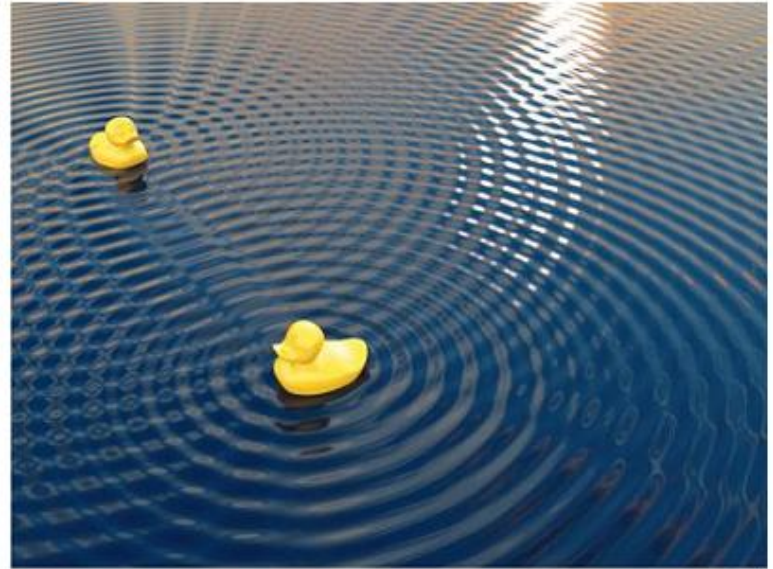
The concept of waves probably entered human thought because people watched the ocean, or a puddle after a pebble fell into it. In fact, if you have ever dropped two pebbles into a puddle, you have probably seen interference at work, as in the picture above. Other liquids were observed to behave in a similar fashion, except perhaps wine if you've had too much. The idea of particles was familiar from rocks, pebbles, and sand. But this wave/particle duality—the idea that an object could be described as either a particle or a wave—is as foreign to everyday experience as is the idea that you can drink a chunk of sandstone.





**Интерференция в луже.** Понятие интерференции обнаруживается в повседневной жизни в водоемах, от луж до океанов.

Такие двойственности - ситуации, в которых две разные теории с точностью описывают один и тот же феномен - согласуются с моделезависимым реализмом. Каждая теория может описать определенные свойства, но ни одна не может сделать это точнее или реальнее чем другая. Касательно законов, управляющих Вселенной,



**Puddle Interference** The concept of interference shows up in everyday life in bodies of water, from puddles to oceans.

Dualities like this—situations in which two very different theories accurately describe the same phenomenon—are consistent with model-dependent realism. Each theory can describe and explain certain properties, and neither theory can be said to be better or more real than the other. Regarding the laws that govern the universe, what



можно сказать вот что: похоже, не существует одной математической модели или теории, которая могла бы описать каждый аспект Вселенной. Вместо этого как упомянуто во вводной главе, кажется, есть сеть теорий под названием М. теории. Каждая теория в сети М. теорий способна описывать явления в пределах определенного диапазона. Где бы ни пересекались их области, различные теории в сети соответствуют друг другу, поэтому их можно назвать частями одной теории. Но ни одна отдельная теория внутри сети не может описать каждого аспекта Вселенной - все силы природы, частицы, создающие эти силы, строение времени и пространства, где все это происходит. Хотя эта ситуация перечеркивает мечту традиционных физиков о единственной единой теории, такое приемлемо лишь в рамках модельно-зависимого реализма.

Мы будем обсуждать дуальность и М-теорию в 5 главе, но перед этим мы вернемся к фундаментальным принципам, на которых основан наш современный взгляд на природу: квантовая теория, и в частности, подход к квантовой теории назван альтернативными историями. С подобной точки зрения, Вселенная

we can say is this: There seems to be no single mathematical model or theory that can describe every aspect of the universe. Instead, as mentioned in the opening chapter, there seems to be the network of theories called M-theory. Each theory in the M-theory network is good at describing phenomena within a certain range. Wherever their ranges overlap, the various theories in the network agree, so they can all be said to be parts of the same theory. But no single theory within the network can describe every aspect of the universe—all the forces of nature, the particles that feel those forces, and the framework of space and time in which it all plays out. Though this situation does not fulfill the traditional physicists' dream of a single unified theory, it is acceptable within the framework of model-dependent realism.

We will discuss duality and M-theory further in [Chapter 5](#), but before that we turn to a fundamental principle upon which our modern view of nature is based: quantum theory, and in particular, the approach to quantum theory called alternative histories. In that view, the universe

не имеет совершенно отдельного существования или истории, но скорее, каждые возможные варианты Вселенной существуют одновременно в так называемой квантовой суперпозиции. Это может звучать также возмутительно, как и теория, в которой стол исчезает каждый раз после того как мы покидаем комнату, но в этом случае теория прошла все экспериментальные проверки, которым ее когда-либо подвергали.

does not have just a single existence or history, but rather every possible version of the universe exists simultaneously in what is called a quantum superposition. That may sound as outrageous as the theory in which the table disappears whenever we leave the room, but in this case the theory has passed every experimental test to which it has ever been subjected.





4



АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОРИИ

4



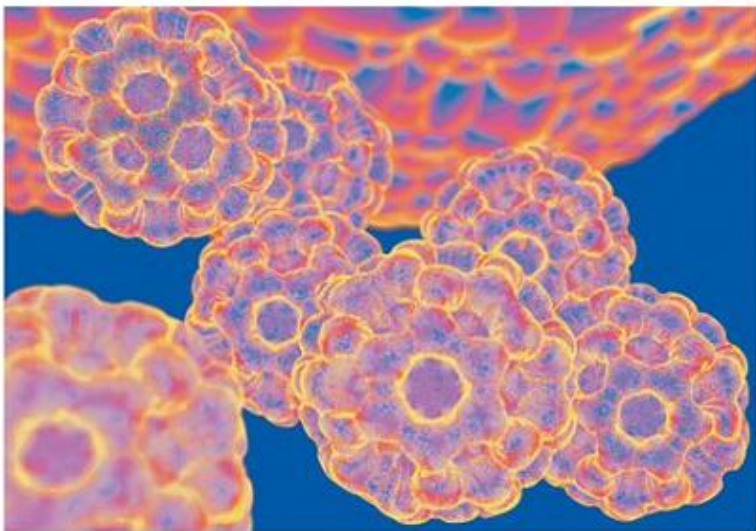
ALTERNATIVE HISTORIES



**В** 1999 г. КОМАНДА ФИЗИКОВ в Австрии

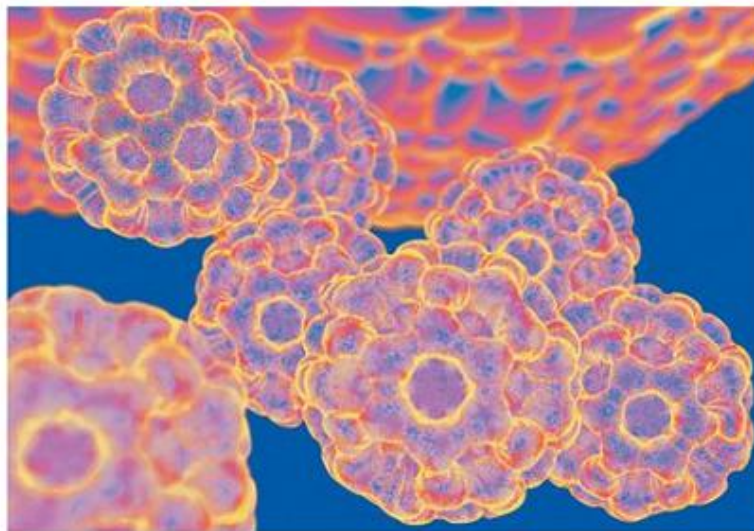
выпустила пучок шарообразных, как футбольные мячи, молекул в направлении экрана. Эти молекулы, каждая из 60 атомов углерода, иногда называют баккиболлс - мячи Бакки, потому что архитектор Бакминстер Фуллер строил здания именно такой формы. Геодезические купола Фуллера были, вероятно, самыми большими существующими объектами формы футбольного мяча. А бакиболы - самыми маленькими. Экран, в направлении которого прицелились учёные, фактически имел лишь две прорези, сквозь которые бакиболы и могли пролететь. За стеной, физики расположили аналогичный экран для обнаружения и подсчёта появляющихся молекул.

**I**N 1999 A TEAM OF PHYSICISTS in Austria fired a series of soccer-ball-shaped molecules toward a barrier. Those molecules, each made of sixty carbon atoms, are sometimes called buckyballs because the architect Buckminster Fuller built buildings of that shape. Fuller's geodesic domes were probably the largest soccer-ball-shaped objects in existence. The buckyballs were the smallest. The barrier toward which the scientists took their aim had, in effect, two slits through which the buckyballs could pass. Beyond the wall, the physicists situated the equivalent of a screen to detect and count the emergent molecules.



**Бакиболы.** Бакиболы как микроскопические футбольные мячи, сделанные из атомов углерода.

Задайся мы целью поставить аналогичный эксперимент, используя настоящие футбольные мячи, нам бы понадобился игрок с несколько "сбитым прицелом", но способный выполнять удары по мячу ритмично, с заданной скоростью. Мы бы поставили этого игрока перед стенкой, в которой есть два отверстия. С обратной стороны стены, параллельно ей, мы бы разместили больших размеров сетку. Большинство ударов нашего игрока попало бы в стенку



**Buckyballs** Buckyballs are like microscopic soccer balls made of carbon atoms.

If we were to set up an analogous experiment with real soccer balls, we would need a player with somewhat shaky aim but with the ability to launch the balls consistently at a speed of our choosing. We would position this player before a wall in which there are two gaps. On the far side of the wall, and parallel to it, we would place a very long net. Most of the player's shots would hit the wall

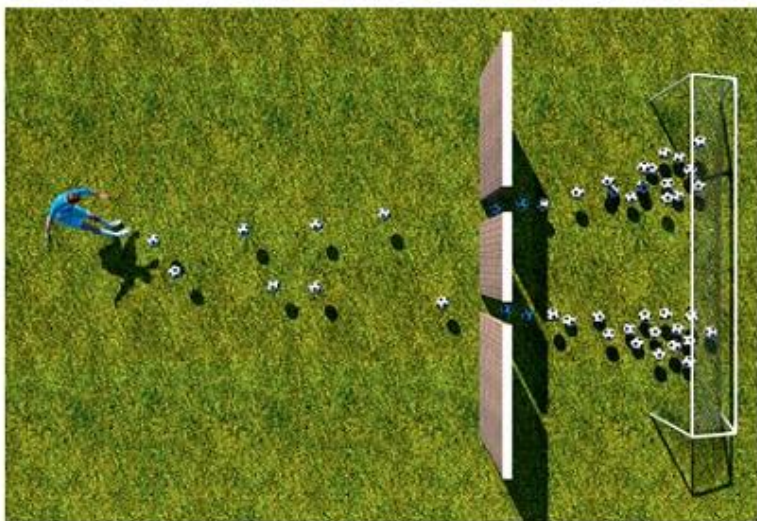
и отскочило, но некоторые прошли бы либо сквозь первое отверстие или сквозь второе и попали бы в сеть. Если диаметр отверстия в стене был лишь немного больше мяча, два очень узких параллельных потока появились бы на другой её стороне. Если же отверстия были чуть шире, - каждый поток разойдётся небольшим веером, как показано на рисунке ниже.

Заметим, что если мы закроем одно из отверстий соответствующий поток мячей сквозь него больше не пройдёт, но на другой поток это никакого эффекта не окажет. Если мы снова откроем второй промежуток, это только увеличит количество мячей, приземлившихся в любой данной точке с другой стороны, где мы получим все мячи из промежутка, остававшегося открытым, плюс мячи из промежутка который только открыли. Другими словами, то, что мы наблюдаем, когда оба промежутка открыты, является суммой того, что мы наблюдаем с каждым промежутком в стене, открытым по отдельности. Это - реальность, к которой мы привыкли в повседневной жизни. Но это не то, что обнаружили австрийские исследователи, когда они запустили свои молекулы.

and bounce back, but some would go through one gap or the other, and into the net. If the gaps were only slightly larger than the balls, two highly collimated streams would emerge on the other side. If the gaps were a bit wider than that, each stream would fan out a little, as shown in the figure below.

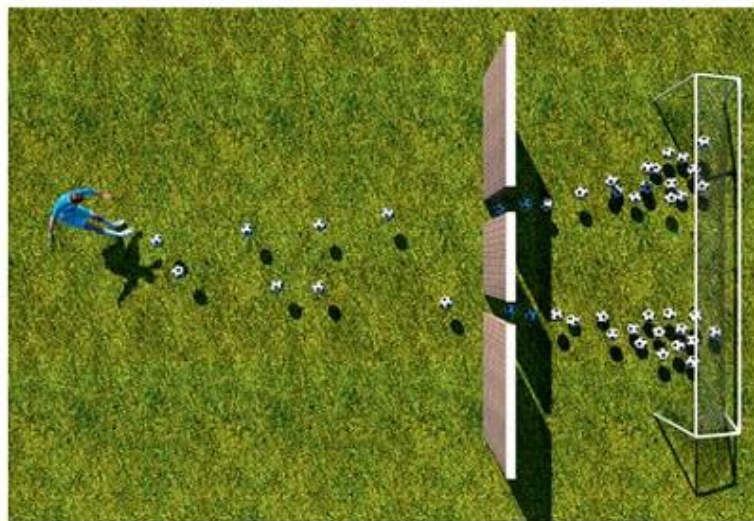
Notice that if we closed off one of the gaps, the corresponding stream of balls would no longer get through, but this would have no effect on the other stream. If we reopened the second gap, that would only increase the number of balls that land at any given point on the other side, for we would then get all the balls that passed through the gap that had remained open, plus other balls coming from the newly opened gap. What we observe with both gaps open, in other words, is the sum of what we observe with each gap in the wall separately opened. That is the reality we are accustomed to in everyday life. But that's not what the Austrian researchers found when they fired their molecules.





**Двухщелевой Футбол.** Игрок, посылающий мячи в стену со щелями, произвел бы очевидный результат.

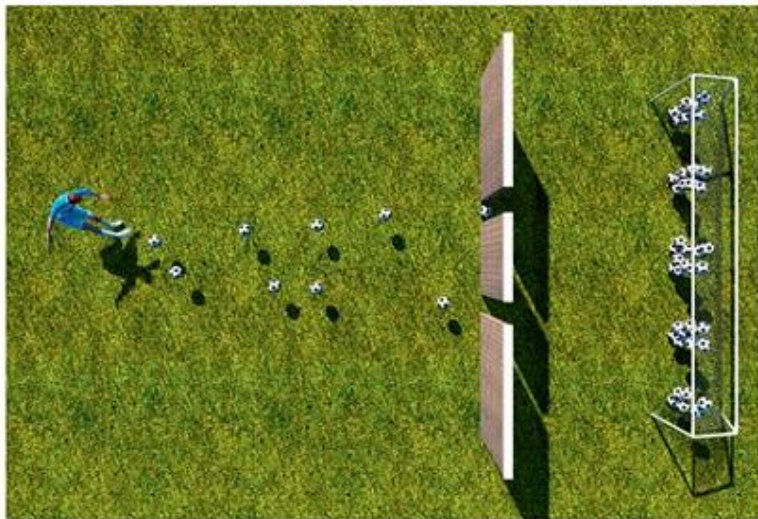
В австрийском эксперименте, открывание второго промежутка действительно увеличивало число молекул, достигших экрана в одних точках, но сокращало их число в других, как на рисунке ниже. Фактически, когда оба промежутка были открытыми, были пятна, где никакие мячи не приземлились, но где шары приземлялись, когда был открыт только один или другой промежуток. Это кажется очень странным. Как может



**Two-Slit Soccer** A soccer player kicking balls at slits in a wall would produce an obvious pattern.

In the Austrian experiment, opening the second gap did indeed increase the number of molecules arriving at some points on the screen—but it decreased the number at others, as in the figure below. In fact, there were spots where no buckyballs landed when both slits were open but where balls did land when only one or the other gap was open. That seems very odd. How can

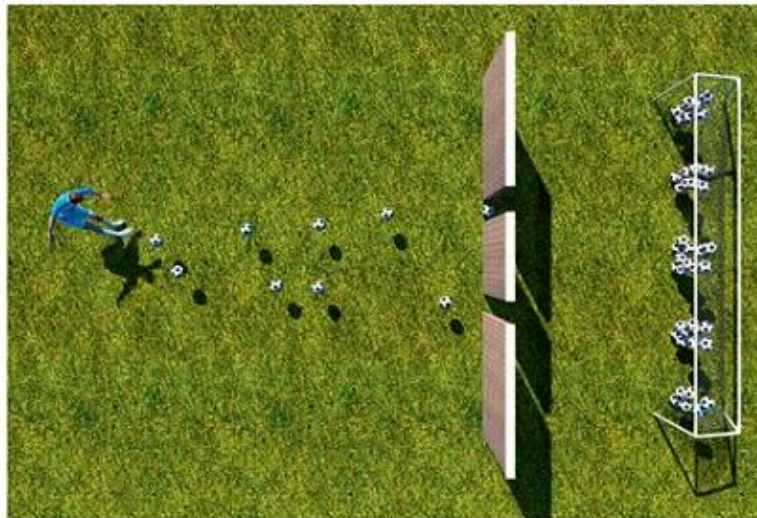
открытие второго промежутка служить причиной того, что каких-то точек достигло меньшее число молекул?



**Игра Бакиболами.** Когда щелевой экран обстреливается бакиболами, результат отражает незнакомые квантовые эффекты.

Мы можем получить ключ к разгадке ответа, исследуя детали. В эксперименте много молекулярных футбольных мячей приземлялись в точку, расположенную на полпути от места, в которое вы ожидали, что они приземлятся, если пройдут и сквозь первый, и сквозь второй промежуток. Чуть дальше центральной позиции

opening a second gap cause fewer molecules to arrive at certain points?



**Buckyball Soccer** When molecular soccer balls are fired at slits in a screen, the resulting pattern reflects unfamiliar quantum laws.

We can get a clue to the answer by examining the details. In the experiment, many of the molecular soccer balls landed at a spot centered halfway between where you would expect them to land if the balls went through either one gap or the other. A little farther out from that central position



приземлялось очень мало молекул, но еще немного дальше от центра снова наблюдалось падение молекул. Эта модель не является суммой моделей, образованных, когда каждый промежуток открыт отдельно, но вы можете узнать ее в [Разделе 3](#) как образец характеристики интерферирующих волн. Участки, где не приземлились молекулы, соответствуют областям, в которых волны, выпущенные из двух промежутков, сошлись не в фазе, и создали гасящую интерференцию; участки, где приземлилось много молекул, относятся к областям, где волны попали в фазу, создав усиливающую интерференцию.

В течение двух тысячелетий научной мысли, обычный опыт и интуиция были основой теоретического обоснования. Совершенствуя наши технологии и расширяя круг феноменов, которые мы можем наблюдать, мы начинаем обнаруживать что природа ведет себя таким образом, который все меньше и меньше согласуется с нашим каждодневным опытом и противоречит нашей интуиции, о чем свидетельствует эксперимент с фуллереном. Этот эксперимент является типичным из вида феноменов, которые нельзя объяснить классической наукой,

very few molecules arrived, but a bit farther away from the center than that, molecules were again observed to arrive. This pattern is not the sum of the patterns formed when each gap is opened separately, but you may recognize it from [Chapter 3](#) as the pattern characteristic of interfering waves. The areas where no molecules arrive correspond to regions in which waves emitted from the two gaps arrive out of phase, and create destructive interference; the areas where many molecules arrive correspond to regions where the waves arrive in phase, and create constructive interference.

In the first two thousand or so years of scientific thought, ordinary experience and intuition were the basis for theoretical explanation. As we improved our technology and expanded the range of phenomena that we could observe, we began to find nature behaving in ways that were less and less in line with our everyday experience and hence with our intuition, as evidenced by the experiment with buckyballs. That experiment is typical of the type of phenomena that cannot be encompassed by classical science

но можно описать тем, что называется квантовой физикой. Как писал Ричард Фейнман, эксперимент с двумя отверстиями, описанный выше, "содержит всю тайну квантовой механики".

Принципы квантовой физики были раскрыты в первые десятилетия двадцатого века, после того как Ньютоновской теории оказалось недостаточно для описания природы на атомном - или субатомном - уровне. Фундаментальные теории физики описывают силы природы, и как объекты им противодействуют. Классические теории (например, теория Ньютона) построены на основе отражения каждодневного опыта, в котором материальные объекты уникальны, они могут находиться в определенных местах, перемещаться определенными траекториями и т.д. Квантовая физика помогает понять, как законы природы работают на атомных и субатомных уровнях, но как мы увидим позже более детально, она предлагает совершенно другую концептуальную схему, при которой положение объекта, его траектория и даже его прошлое и будущее точно не определено. Квантовые теории сил, таких как гравитационные или электромагнитные,

but are described by what is called quantum physics. In fact, Richard Feynman wrote that the double-slit experiment like the one we described above "contains all the mystery of quantum mechanics."

The principles of quantum physics were developed in the first few decades of the twentieth century after Newtonian theory was found to be inadequate for the description of nature on the atomic—or subatomic—level. The fundamental theories of physics describe the forces of nature and how objects react to them. Classical theories such as Newton's are built upon a framework reflecting everyday experience, in which material objects have an individual existence, can be located at definite locations, follow definite paths, and so on. Quantum physics provides a framework for understanding how nature operates on atomic and subatomic scales, but as we'll see in more detail later, it dictates a completely different conceptual schema, one in which an object's position, path, and even its past and future are not precisely determined. Quantum theories of forces such as gravity or the electromagnetic force are

построены на основе этих положений.

Могут ли теории, построенные на основах чуждых повседневному опыту так же объяснять события обыденного опыта, которые были смоделированы с такой точностью классической физикой? Могут, поскольку мы и наша окружающая среда - составные структуры, сделанные из невообразимо большого числа атомов, большего количества атомов, чем существует звезд в видимой Вселенной. И хотя составляющие атомы подчиняются принципам квантовой физики, можно продемонстрировать, что большие скопления, формирующие футбольные мячи, репу и аэробусы - и нас - действительно будут ухитряться избегать дифрагирования через разрезы. Поэтому, хотя компоненты повседневных объектов повинуются квантовой физике, законы Ньютона создают эффективную теорию, которая очень точно описывает, как ведут себя составные структуры, образующие наш повседневный мир.

Это могло бы звучать странно, но в науке есть множество примеров, в которых большое скопление, кажется, ведет себя, в некоторой степени, отлично от поведения его отдельных компонентов. Реакция одного нейрона едва ли предскажет реакцию человеческого мозга, равно как и знание

built within that framework.

Can theories built upon a framework so foreign to everyday experience also explain the events of ordinary experience that were modeled so accurately by classical physics? They can, for we and our surroundings are composite structures, made of an unimaginably large number of atoms, more atoms than there are stars in the observable universe. And though the component atoms obey the principles of quantum physics, one can show that the large assemblages that form soccer balls, turnips, and jumbo jets—and us—will indeed manage to avoid diffracting through slits. So though the components of everyday objects obey quantum physics, Newton's laws form an effective theory that describes very accurately how the composite structures that form our everyday world behave.

That might sound strange, but there are many instances in science in which a large assemblage appears to behave in a manner that is different from the behavior of its individual components. The responses of a single neuron hardly portend those of the human brain, nor does knowing

о молекуле воды не много говорит вам о поведении озера. В случае квантовой физики, ученые все еще работают, чтобы выяснить детали того, как законы Ньютона возникают из квантовой сферы. Нам точно известно, что составные части всех объектов подчиняются законам квантовой физики, и Законы Ньютона хорошо описывают модель поведения макроскопических объектов, которые состоят из этих квантовых частиц.

Но предсказания Ньютоновской теории поэтому соответствуют представлению о реальности, в которой мы развиваемся, как познаем мир вокруг нас. Но уникальные атомы и молекулы взаимодействуют совсем по-другому, чем принято в нашей повседневной жизни. Квантовая физика - новая модель реальности, дающая нам картину Вселенной. Это - картина, в которой у многих понятий, фундаментальных для нашего интуитивного понимания действительности больше, нет значения.

Эксперимент с двойной щелью, который был проведен в 1927 году Клинтоном Дависсоном и Лестером Жермером, физиками-экспериментаторами из лаборатории Bell, которые изучали, как пучок электронов - объекты много проще чем "мячи Баки" - взаимодействует с кристаллом,

about a water molecule tell you much about the behavior of a lake. In the case of quantum physics, physicists are still working to figure out the details of how Newton's laws emerge from the quantum domain. What we do know is that the components of all objects obey the laws of quantum physics, and the Newtonian laws are a good approximation for describing the way macroscopic objects made of those quantum components behave.

The predictions of Newtonian theory therefore match the view of reality we all develop as we experience the world around us. But individual atoms and molecules operate in a manner profoundly different from that of our everyday experience. Quantum physics is a new model of reality that gives us a picture of the universe. It is a picture in which many concepts fundamental to our intuitive understanding of reality no longer have meaning.

The double-slit experiment was first carried out in 1927 by Clinton Davisson and Lester Germer, experimental physicists at Bell Labs who were studying how a beam of electrons—objects much simpler than buckyballs—interacts with a crystal



сделанным из никеля. Тот, что материальные частицы, такие как электроны, ведут себя подобно водяным волнам, был одним из тех восхитительных экспериментов, которые повлияли на квантовую физику. Поскольку такое поведение на макроскопическом уровне не наблюдается, учёные долгое время задавались вопросом - насколько большим и сложным должен быть объект, чтобы сохранять способность демонстрировать волновые свойства. Если бы подобный эффект можно было продемонстрировать с участием людей или гиппопотамов, это, безусловно, вызвало бы ажиотаж, однако, как уже было сказано, чем больше размер объекта, тем менее заметны квантовые эффекты. Поэтому маловероятно, что какие-либо животные в зоопарке просочатся, подобно воде, сквозь прутья своих клеток. Тем не менее, физики-экспериментаторы наблюдают волновые явления у частиц всё больших размеров. Учёные надеются повторить когда-нибудь эксперимент с фуллеренами, используя вместо них вирус, который не только значительно превосходит их размерами, но также рассматривается некоторыми как живое существо.

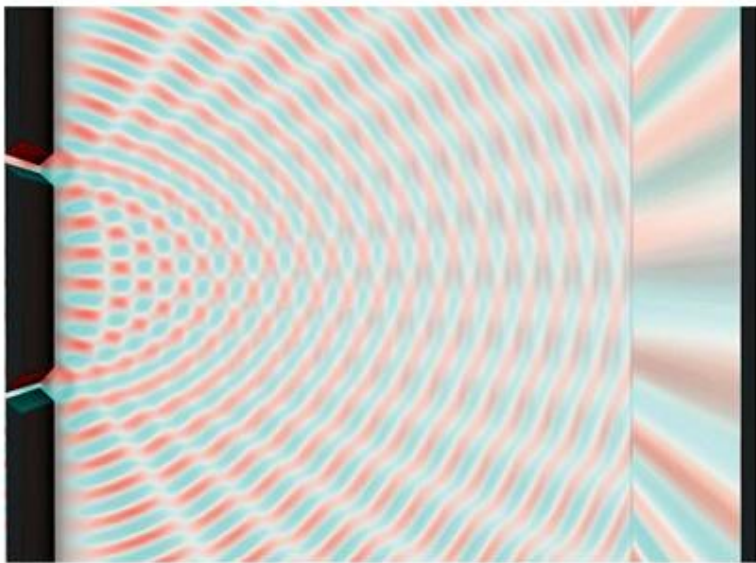
Знание лишь некоторых аспектов квантовой физики требуется для того, чтобы понять аргументы, представленные в следующих главах. Одно из основных свойств - двойственность волны/частицы. Материальные частицы, ведущие себя подобно волне, удивят любого. То, что свет

made of nickel. The fact that matter particles such as electrons behave like water waves was the type of startling experiment that inspired quantum physics. Since this behavior is not observed on a macroscopic scale, scientists have long wondered just how large and complex something could be and still exhibit such wavelike properties. It would cause quite a stir if the effect could be demonstrated using people or a hippopotamus, but as we've said, in general, the larger the object the less apparent and robust are the quantum effects. So it is unlikely that any zoo animals will be passing wavelike through the bars of their cages. Still, experimental physicists have observed the wave phenomenon with particles of ever-increasing size. Scientists hope to replicate the buckyball experiment someday using a virus, which is not only far bigger but also considered by some to be a living thing.

There are only a few aspects of quantum physics needed to understand the arguments we will make in later chapters. One of the key features is wave/particle duality. That matter particles behave like a wave surprised everyone. That light

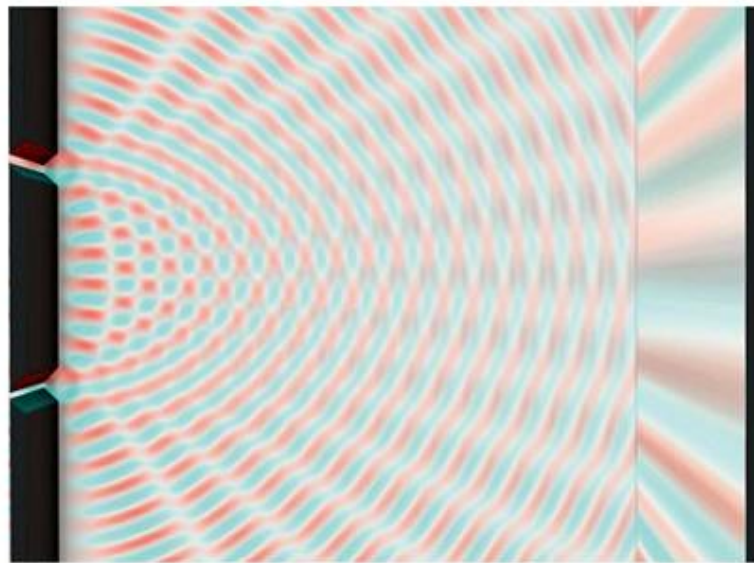
ведёт себя подобно волне, уже давно никого не удивляет. Волновое поведение света представляется нам естественным и уже около двухсот лет считается достоверным и признанным фактом. Если вы направите луч света на две щели, как в вышеописанном эксперименте, две волны появятся и пересекутся на экране. В каких-то точках их гребни будут совпадать, формируя яркое пятно, в других - гребни одной волны будут совпадать с долинами другой, нейтрализуя их и оставляя тёмную область. Английский физик Томас Янг проводил такой эксперимент в начале девятнадцатого века, стараясь убедить людей, что свет есть волна, а не состоит из частиц, как полагал Ньютон.

behaves like a wave no longer surprises anyone. The wavelike behavior of light seems natural to us and has been considered an accepted fact for almost two centuries. If you shine a beam of light on the two slits in the above experiment, two waves will emerge and meet on the screen. At some points their crests or troughs will coincide and form a bright spot; at others the crests of one beam will meet the troughs of the other, canceling them, and leaving a dark area. The English physicist Thomas Young performed this experiment in the early nineteenth century, convincing people that light was a wave and not, as Newton had believed, composed of particles.



**Эксперимент Юнга.** Картина, создаваемая бакиболами, объясняется волновой теорией света.

Хотя кто-то мог бы подумать, что Ньютон ошибался, утверждая, что свет не является волной, но он был прав, когда говорил, что свет ведет себя так, как если бы он состоял из частиц. Сегодня мы зовём эти частицы фотонами. Так же как мы состоим из большого числа атомов, свет, который мы видим в повседневной жизни, является сложным, в том смысле, что состоит из громадного числа фотонов - даже 1-ваттный ночник испускает



**Young's Experiment** The buckyball pattern was familiar from the wave theory of light.

Though one might conclude that Newton was wrong to say that light was not a wave, he was right when he said that light can act as if it is composed of particles. Today we call them photons. Just as we are composed of a large number of atoms, the light we see in everyday life is composite in the sense that it is made of a great many photons—even a 1-watt night-light emits a

миллиарды миллиардов фотонов каждую секунду. Единичные фотоны обычно не наблюдаются, но в лаборатории мы можем сформировать луч света настолько слабый, что он, по сути, состоит из потока единичных фотонов, которые мы можем обнаружить как отдельные элементы, так же как обнаруживаем единичные электроны или фуллерены. И мы можем повторить эксперимент Янга, используя луч света достаточно низкой плотности, чтобы обеспечить фотонам возможность достигать преграды по одному за раз, с интервалом в несколько секунд. Поступив подобным образом и суммировав затем все индивидуальные отметки, зафиксированные на экране с обратной стороны преграды, мы обнаружим, что имела место интерференция по тому же образцу, как если бы мы выполняли эксперимент Дэвиссона-Гермера, но направляли бы на экран электроны (или фуллерены) по одному за раз. Для физиков этом было поразительным открытием: если отдельные частицы интерферируют сами с собой, тогда волновая природа света является свойством не просто луча или большого количества фотонов, но отдельных частиц.

Другим основным принципом квантовой физики является принцип неопределенности, сформулированный Вернером Гейзенбергом в 1926 году. Принцип неопределенности гласит,

billion billion each second. Single photons are not usually evident, but in the laboratory we can produce a beam of light so faint that it consists of a stream of single photons, which we can detect as individuals just as we can detect individual electrons or buckyballs. And we can repeat Young's experiment employing a beam sufficiently sparse that the photons reach the barrier one at a time, with a few seconds between each arrival. If we do that, and then add up all the individual impacts recorded by the screen on the far side of the barrier, we find that together they build up the same interference pattern that would be built up if we performed the Davisson-Germer experiment but fired the electrons (or buckyballs) at the screen one at a time. To physicists, that was a startling revelation: If individual particles interfere with themselves, then the wave nature of light is the property not just of a beam or of a large collection of photons but of the individual particles.

Another of the main tenets of quantum physics is the uncertainty principle, formulated by Werner Heisenberg in 1926. The uncertainty principle tells



что невозможно одновременно измерить положение и скорость частицы. Согласно принципу неопределенности, например, если вы умножите неопределенность положения частицы на неопределенность ее импульса (масса, умноженная на его скорость) результат никогда не может быть меньше, чем определенное фиксированное значение, названное постоянной Планка. Это похоже на скороговорку, но суть её может быть выражена очень просто: чем точнее вы измеряете скорость, тем менее точно вы сможете измерить положение и наоборот. В случае, если вы сократили вдвое неопределённость в положении, вам следует удвоить неопределённость в скорости. Так же очень важно заметить, что в сравнении с привычными единицами измерения, такими как метры, килограммы или секунды постоянная Планка очень мала. В сущности, если описывать её этими единицами она имеет значение около  $6/10,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000$ . В результате, если известно положение макроскопического объекта, скажем, футбольного мяча, массой в  $1/3$  килограмма, то в пределах 1 миллиметра в любом направлении мы так же сможем измерить и скорость, с точностью большей, чем до

us that there are limits to our ability to simultaneously measure certain data, such as the position and velocity of a particle. According to the uncertainty principle, for example, if you multiply the uncertainty in the position of a particle by the uncertainty in its momentum (its mass times its velocity) the result can never be smaller than a certain fixed quantity, called Planck's constant. That's a tongue-twister, but its gist can be stated simply: The more precisely you measure speed, the less precisely you can measure position, and vice versa. For instance, if you halve the uncertainty in position, you have to double the uncertainty in velocity. It is also important to note that, compared with everyday units of measurement such as meters, kilograms, and seconds, Planck's constant is very small. In fact, if reported in those units, it has the value of about  $6/10,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000$ . As a result, if you pinpoint a macroscopic object such as a soccer ball, with a mass of one-third of a kilogram, to within 1 millimeter in any direction, we can still measure its velocity with a precision far greater than even a billionth of a

[illegible][illegible]



*“Если это верно, то всё, что мы считали волной,  
на самом деле частица, а всё, что мы считали  
частицей, на самом деле волна.”*

Основываясь на квантовой физике, вне зависимости от того сколько информации у нас уже имеется или насколько велики наши вычислительные возможности, результаты физических взаимодействий не могут быть предсказаны со всей определённой, потому что определённость не входит в их описание. Вместо этого, учитывая изначальное состояние системы, природа определяет состояние будущего через процесс, который суть фундаментально не определён. Другими словами, природа не предписывает результатов никаких



*“If this is correct, then everything we thought was a wave  
is really a particle, and everything we thought was a  
particle is really a wave.”*

According to quantum physics, no matter how much information we obtain or how powerful our computing abilities, the outcomes of physical processes cannot be predicted with certainty because they are not *determined* with certainty. Instead, given the initial state of a system, nature determines its future state through a process that is fundamentally uncertain. In other words, nature does not dictate the outcome of any

процессов или опытов, даже в самых простейших ситуациях. Скорее допускает некоторое количество различных вариантов развития, каждый со своей вероятностью осуществления. Всё равно, как если бы, перефразируя Эйнштейна, Бог бросал кости всякий раз, прежде чем решить исход любого физического процесса. Эта идея не давала покоя Эйнштейну и, несмотря на то, что он сам являлся одним из отцов-основателей квантовой физики, в дальнейшем он начинает ее критиковать.

Может показаться, что квантовая физика подрывает саму идею законов природы ею управляющими, но это совсем другой случай. Напротив, она приводит нас к новой форме детерминизма: учитывая состояние системы в какое-либо время, законы природы определяют вероятность различных будущих и прошлых, вместо того, чтобы определять единственное достоверное будущее и прошлое. И хотя некоторым из них это будет неприятно, учёные должны принимать теории, совпадающие с результатами экспериментов, а не свои предвзятые убеждения.

Наука требует от теории лишь того, чтобы её было можно проверить. Если вероятностная природа предсказаний квантовой физики означала невозможность подтверждения этих предсказаний, то квантовые теории никак нельзя было бы назвать научными

process or experiment, even in the simplest of situations. Rather, it allows a number of different eventualities, each with a certain likelihood of being realized. It is, to paraphrase Einstein, as if God throws the dice before deciding the result of every physical process. That idea bothered Einstein, and so even though he was one of the fathers of quantum physics, he later became critical of it.

Quantum physics might seem to undermine the idea that nature is governed by laws, but that is not the case. Instead it leads us to accept a new form of determinism: Given the state of a system at some time, the laws of nature determine the *probabilities* of various futures and pasts rather than determining the future and past with certainty. Though that is distasteful to some, scientists must accept theories that agree with experiment, not their own preconceived notions.

What science does demand of a theory is that it be testable. If the probabilistic nature of the predictions of quantum physics meant it was impossible to confirm those predictions, then quantum theories would not qualify as valid



теориями. Но, не смотря на вероятностную природу предсказаний, мы всё же можем проверить квантовые теории. Например, мы можем повторить эксперимент много раз и удостовериться, что частота различных результатов соответствует предсказанным вероятностям. Рассмотрим эксперимент с мячами Бака. Как говорит нам квантовая физики - ничто не находится в определённой точке, ибо если бы оно находилось, то неопределённость импульса была бы бесконечной. Фактически, согласно квантовой физике, каждая частица имеет некоторую вероятность быть найденной где угодно во Вселенной. Так что, даже если шансы найти электрон в устройстве с двумя отверстиями очень велики, всегда останется некоторая вероятность того, что вместо этого он найдётся на обратной стороне звезды в Альфа Центавре или в пироге с почками из кафетерия рядом с вашим офисом. Как результат, если Вы ударите квантовый бакибол и позволите ему лететь, то никакой объем умений или знаний не даст Вам сказать заранее, где конкретно этот бакибол приземлится. Но если вы повторите этот эксперимент много раз, то полученные данные отразят вероятность нахождения мяча в самых разных местах, а экспериментаторы подтвердят, что результаты подобных экспериментов

theories. But despite the probabilistic nature of their predictions, we can still test quantum theories. For instance, we can repeat an experiment many times and confirm that the frequency of various outcomes conforms to the probabilities predicted. Consider the buckyball experiment. Quantum physics tells us that nothing is ever located at a definite point because if it were, the uncertainty in momentum would have to be infinite. In fact, according to quantum physics, each particle has some probability of being found anywhere in the universe. So even if the chances of finding a given electron within the double-slit apparatus are very high, there will always be some chance that it could be found instead on the far side of the star Alpha Centauri, or in the shepherd's pie at your office cafeteria. As a result, if you kick a quantum buckyball and let it fly, no amount of skill or knowledge will allow you to say in advance exactly where it will land. But if you repeat that experiment many times, the data you obtain will reflect the probability of finding the ball at various locations, and experimenters have confirmed that the results of such experiments

согласуются с предсказаниями теории.

Важно понимать, что вероятности в квантовой физике - это не то же, что вероятности в Ньютоновой физике или в повседневной жизни. Мы можем это понять, сравнив выстроенные модели равномерного потока бакиболов, выпущенных в экран, с моделью отверстий, выстроенных исходя из того, что игрок в дартс целился в яблочко. Если конечно игроки не пили уж слишком много пива, шансы дротика воткнуться недалеко от центра очень велики, и по мере удаления от центра уменьшаются. Как и с бакиболами, любой из дротиков может воткнуться куда угодно, и, со временем, модель отметин от дротиков, отражающая вероятность, лежащую в своей основе, построится. В повседневной жизни, в такой ситуации мы можем сказать, что дротик имеет определенную вероятность приземления в разных местах, но мы говорим так, только потому (в отличие от случая с бакиболами), что наше знание об условиях его запуска неполные. Мы могли бы улучшить описание предмета, если бы знали точно как именно игрок запустил дротик - его угол, вращение, скорость и т.д. В принципе, тогда мы смогли бы предсказать, где приземлится дротик с той точностью, с которой

agree with the theory's predictions.

It is important to realize that probabilities in quantum physics are not like probabilities in Newtonian physics, or in everyday life. We can understand this by comparing the patterns built up by the steady stream of buckyballs fired at a screen to the pattern of holes built up by players aiming for the bull's-eye on a dartboard. Unless the players have consumed too much beer, the chances of a dart landing near the center are greatest, and diminish as you go farther out. As with the buckyballs, any given dart can land anywhere, and over time a pattern of holes that reflects the underlying probabilities will emerge. In everyday life we might reflect that situation by saying that a dart has a certain probability of landing in various spots; but if we say that, unlike the case of the buckyballs, it is only because our knowledge of the conditions of its launch is incomplete. We could improve our description if we knew exactly the manner in which the player released the dart, its angle, spin, velocity, and so forth. In principle, then, we could predict where the dart will land with a precision as great as we

хотели бы. Использование нами условий вероятности, для описания результата событий в повседневной жизни, таким образом, является не отражением глубинной сущности процесса, но лишь нашего невежества в некоторых его аспектах.

Вероятности в квантовых теориях совсем другие. Они отражают фундаментальную случайность в природе. Квантовая модель природы включает в себя принципы, которые не только противоречат нашему повседневному опыту, но и нашему интуитивному восприятию реального. Те, что находят эти принципы странными или неправдоподобными находятся в хорошем обществе, обществе великих физиков, таких как Эйнштейн и даже Фейнман, чьё описание квантовой теории мы совсем скоро представим. Фейнман, в действительности, как-то написал: "Думаю, я могу спокойно заявить, что никто не понимает квантовой механики". Но квантовая физика согласуется с наблюдениями. Ни одного провального теста,- а тестировали её больше, чем любую другую научную теорию.

В 1940х Ричарда Фейнмана потрясло озарение в понимании разницы между квантовым и Ньютоновым мирами. Фейнмана заинтриговал вопрос, как возникает модель интерференции

desire. Our use of probabilistic terms to describe the outcome of events in everyday life is therefore a reflection not of the intrinsic nature of the process but only of our ignorance of certain aspects of it.

Probabilities in quantum theories are different. They reflect a fundamental randomness in nature. The quantum model of nature encompasses principles that contradict not only our everyday experience but our intuitive concept of reality. Those who find those principles weird or difficult to believe are in good company, the company of great physicists such as Einstein and even Feynman, whose description of quantum theory we will soon present. In fact, Feynman once wrote, "I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics." But quantum physics agrees with observation. It has never failed a test, and it has been tested more than any other theory in science.

In the 1940s Richard Feynman had a startling insight regarding the difference between the quantum and Newtonian worlds. Feynman was intrigued by the question of how the interference

в эксперименте с двумя отверстиями. Напомним о том, что полученная итоговая модель после того, как мы выстрелили молекулами, когда обе прорези открыты, не есть сумма моделей, если провести эксперимент дважды: один раз только с открытой первой прорезью, а второй - только со второй. Напротив, когда обе прорези открыты, мы находим череду светлых и тёмных полос. Последние это те области, куда не приземлилась ни одна частица. Это означает, что частицы, которые должны были бы попасть в область темной полосы, в случае если, скажем, открыта одна прорезь, там не оказываются, если открыты обе прорези. Как будто где-то на середине своего пути к экрану частицы получают информацию про обе прорези. Такое поведение решительно отличается от того, как всё обстоит в повседневной жизни, в которой мяч проследует сквозь одну из прорезей и на него никак не повлияет состояние второй.

Согласно Ньютоновской физике, и согласно тому, как эксперимент прошёл бы, если бы мы проделали то же самое с футбольными мячами вместо молекул, каждая частица следует единственному строго определённом маршруту от источника к экрану. В такой картине не находится места обходному пути, которым частица по пути посещает окрестности

pattern in the double-slit experiment arises. Recall that the pattern we find when we fire molecules with both slits open is not the sum of the patterns we find when we run the experiment twice, once with just one slit open, and once with only the other open. Instead, when both slits are open we find a series of light and dark bands, the latter being regions in which no particles land. That means that particles that would have landed in the area of the dark band if, say, only slit one was open, do not land there when slit two is also open. It seems as if, somewhere on their journey from source to screen, the particles acquire information about both slits. That kind of behavior is drastically different from the way things seem to behave in everyday life, in which a ball would follow a path through one of the slits and be unaffected by the situation at the other.

According to Newtonian physics—and to the way the experiment would work if we did it with soccer balls instead of molecules—each particle follows a single well-defined route from its source to the screen. There is no room in this picture for a detour in which the particle visits the neighbor-



обеих прорезей. Однако, согласно квантовой модели, у частицы будто бы и нет точного местоположения в то время, пока она находится между начальной и конечной точками пути. Фейнман понимал, что не нужно принимать это за отсутствие пути у частиц, пока они следуют от источника к экрану. Совсем наоборот, это могло бы значить, что частицы проходят всеми из возможных путей связывающих эти точки. Вот, утверждал Фейнман, что отличает квантовую физику от Ньютоновой. Эта история с двумя прорезями имеет значение, потому что вместо того, чтобы проследовать единственным определённым путём, частицы прошли всеми, да ещё и за раз. Звучит как научная фантастика, но это не так. Фейнман сформулировал математическое выражение - "Фейнманову сумму предысторий", отражающее эту идею и воспроизводящее все законы квантовой физики. У Фейнмана в теории математическая и физическая картины расходились с исходными формулировками квантовой физики, но предсказания были такими же.

В эксперименте с двумя прорезями идеи Фейнмана сводятся к тому, что частицы выбирают пути, которые ведут либо сквозь одну прорезь, либо сквозь вторую; пути, что ведут

hood of each slit along the way. According to the quantum model, however, the particle is said to have no definite position during the time it is between the starting point and the endpoint. Feynman realized one does not have to interpret that to mean that particles take *no* path as they travel between source and screen. It could mean instead that particles take *every* possible path connecting those points. This, Feynman asserted, is what makes quantum physics different from Newtonian physics. The situation at both slits matters because, rather than following a single definite path, particles take every path, and they take them all *simultaneously*! That sounds like science fiction, but it isn't. Feynman formulated a mathematical expression—the Feynman sum over histories—that reflects this idea and reproduces all the laws of quantum physics. In Feynman's theory the mathematics and physical picture are different from that of the original formulation of quantum physics, but the predictions are the same.

In the double-slit experiment Feynman's ideas mean the particles take paths that go through only one slit or only the other; paths that thread

сквозь первую прорезь, затем обратно через вторую, и вновь снова через первую; пути, ведущие в ресторан, где подают креветки в соусе карри, затем к Юпитеру, закручиваясь вокруг него несколько раз перед возвращением обратно; и даже пути, что ведут через Вселенную и обратно. Это, по мнению Фейнмана, объясняет, как частица получает информацию о том, какие прорези открыты - если прорезь открыта, частица направляется сквозь неё. Когда обе прорези открыты, пути частиц, путешествующих через одну прорезь, могут пересекаться с путями через вторую, вызывая тем самым интерференцию. Быть может это прозвучит невероятно, но для нынешней фундаментальной физики в целом, и для этой книги в частности, теория Фейнмана оказалась много полезнее, чем оригинальная.

through the first slit, back out through the second slit, and then through the first again; paths that visit the restaurant that serves that great curried shrimp, and then circle Jupiter a few times before heading home; even paths that go across the universe and back. This, in Feynman's view, explains how the particle acquires the information about which slits are open—if a slit is open, the particle takes paths through it. When both slits are open, the paths in which the particle travels through one slit can interfere with the paths in which it travels through the other, causing the interference. It might sound nutty, but for the purposes of most fundamental physics done today—and for the purposes of this book—Feynman's formulation has proved more useful than the original one.



**Траектории частиц.** Фейнмановская формулировка квантовой теории объясняет, почему частицы – бакиболы и электроны – создают интерференционную картину, проходя через щели на экране.

Фейнмановское видение квантовой реальности является ключевым в понимании теорий, которые мы скоро представим, поэтому стоит потратить некоторое время на то, чтобы понять, как там всё устроено. Представьте себе простой процесс, в котором частица из пункта А начинает своё свободное движение. В Ньютоновой модели эта частица проследует по прямой. По истечении некоторого определённого времени



**Particle Paths** Feynman's formulation of quantum theory provides a picture of why particles such as buckyballs and electrons form interference patterns when they are shot through slits in a screen.

Feynman's view of quantum reality is crucial in understanding the theories we will soon present, so it is worth taking some time to get a feeling for how it works. Imagine a simple process in which a particle begins at some location A and moves freely. In the Newtonian model that particle will follow a straight line. After a certain precise time

мы обнаружим частицу в определенном пункте В, находящимся на этой прямой. В модели Фейнмана квантовая частица проводит выборку всех путей, соединяющих пункты А и Б, составляя при этом число, называемое фазой для каждого пути. Эта фаза представляет собой такое положение в волновом цикле, в котором волна находится либо на верхнем, либо на нижнем пике, или где-то посередине. Формула Фейнмана по математическому расчёту этой фазы показывает, что когда вы складываете вместе волны всех путей, вы получаете "амплитуду вероятности" достижения частицей из пункта А пункта Б. А затем квадрат амплитуды вероятности даёт конечную вероятность достижения пункта Б.

Фаза, в которой все отдельные пути входят в Фейнманову сумму (и, следовательно, в вероятность прохождения пути от А к Б) может быть представлена в виде стрелы определённой ограниченной длины, но могущей воткнуться в любом направлении. Добавим ещё две фазы: поместим стрелу, представляющую одну фазу у наконечника стрелы, представляющей другую фазу, и тем самым получим третью, общую стрелу, представляющую сумму. Чтобы увеличить количество фаз, просто продолжайте добавлять стрелы. Заметим, что когда фазы выстроены в линию, стрела, представляющая сумму

passes, we will find the particle at some precise location B along that line. In Feynman's model a quantum particle samples every path connecting A and B, collecting a number called a phase for each path. That phase represents the position in the cycle of a wave, that is, whether the wave is at a crest or trough or some precise position in between. Feynman's mathematical prescription for calculating that phase showed that when you add together the waves from all the paths you get the "probability amplitude" that the particle, starting at A, will reach B. The square of that probability amplitude then gives the correct probability that the particle will reach B.

The phase that each individual path contributes to the Feynman sum (and hence to the probability of going from A to B) can be visualized as an arrow that is of fixed length but can point in any direction. To add two phases, you place the arrow representing one phase at the end of the arrow representing the other, to get a new arrow representing the sum. To add more phases, you simply continue the process. Note that when the phases line up, the arrow representing the total

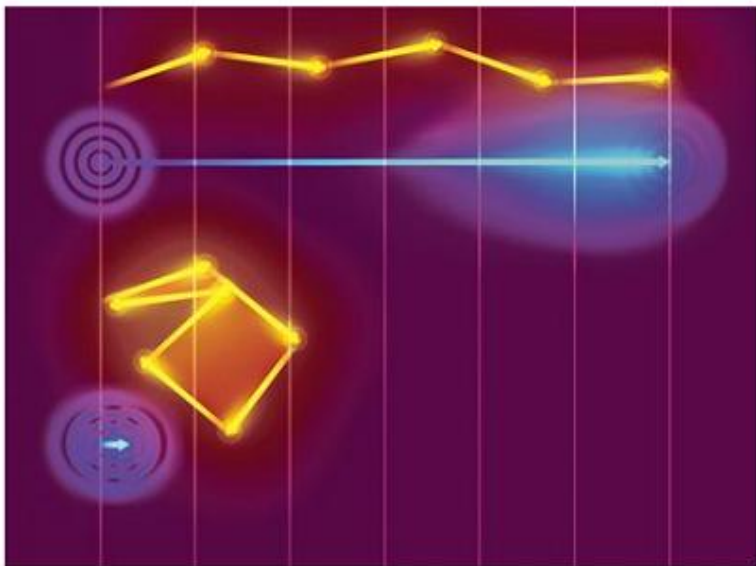


может быть довольно длинной. Но если стрелы направлены в разные стороны, то они быстро заканчиваются, по мере их добавления, оставляя вас с совсем небольшим количеством стрел. Эта идея изображена на рисунке ниже.

Для выполнения условий Фейнмана по расчёту вероятностной амплитуды, что частица из пункта А достигнет пункта Б, вы просто складываете фазы или стрелы, представляющими все пути, связывающие А и Б. Существующих путей бесконечно много, что слегка усложняет расчёты, но этот способ работает. Некоторые пути показаны ниже.

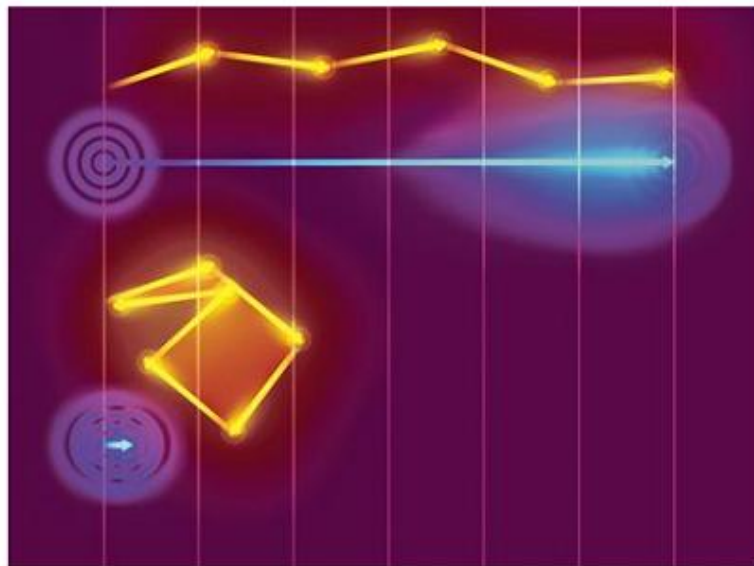
can be quite long. But if they point in different directions, they tend to cancel when you add them, leaving you with not much of an arrow at all. The idea is illustrated in the figures below.

To carry out Feynman's prescription for calculating the probability amplitude that a particle beginning at a location A will end up at a location B, you add the phases, or arrows, associated with every path connecting A and B. There are an infinite number of paths, which makes the mathematics a bit complicated, but it works. Some of the paths are pictured below.



**Дополнительные Фейнмановские Траектории.** Эффекты в различных Фейнмановских путях могут, подобно волнам, складываться или гаситься. Желтые стрелки представляют фазы, которые будут добавлены. Синие стрелки представляют их сумму, линия от начала первой стрелки до точки последней. Чуть ниже стрелки другого направления и их сумма, синяя линия, очень короткая.

Теория Фейнмана очень чётко показывает, как можно вывести Ньютону картину мировосприятия из квантовой физики, кажущейся совершенно отличной. Согласно Фейнмановой теории, фазы связанные с каждым путём зависят от

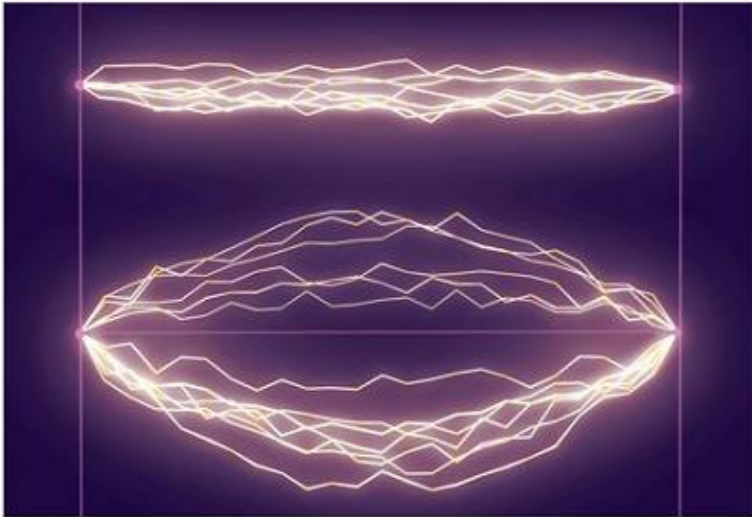


**Adding Feynman Paths** The effects due to different Feynman paths can enhance or diminish each other just as waves do. The yellow arrows represent the phases to be added. The blue lines represent their sum, a line from the tail of the first arrow to the point of the last one. In the lower image the arrows point in different directions and so their sum, the blue line, is very short.

Feynman's theory gives an especially clear picture of how a Newtonian world picture can arise from quantum physics, which seems very different. According to Feynman's theory, the phases associated with each path depend upon

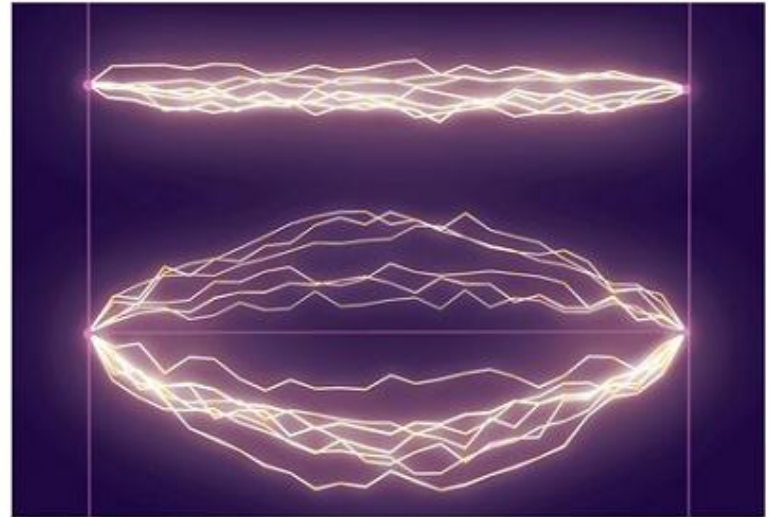
постоянной Планка. Теория предписывает, что поскольку постоянная Планка является очень малым числом, то, когда вы складываете сумму путей, близких другу другу, их фазы сильно варьируются, и, как видно на рисунке, их сумма в результате будет сводиться к нулю. Но теория также показывает, что существуют определенные пути, фазы которых имеют тенденцию выстроиться в линию, и именно они дают сумму более предпочтительную (значительную) для изучения процесса поведения частицы. Оказывается, что применительно к большим объектам, пути, подобные тем, что предсказаны теорией Ньютона, будут иметь подобные фазы, и в сумме дадут наибольшую составляющую. Таким образом, единственным конечным пунктом, имеющим практическую вероятность больше нуля, будет конечный пункт, предсказываемый теорией Ньютона, и этот пункт будет иметь вероятность очень близкую к единице. Следовательно, большие объекты движутся именно так, как предсказывает теория Ньютона.

Planck's constant. The theory dictates that because Planck's constant is so small, when you add the contribution from paths that are close to each other the phases normally vary wildly, and so, as in the figure above, they tend to add to zero. But the theory also shows that there are certain paths for which the phases have a tendency to line up, and so those paths are favored; that is, they make a larger contribution to the observed behavior of the particle. It turns out that for large objects, paths very similar to the path predicted by Newton's will have similar phases and add up to give by far the largest contribution to the sum, and so the only destination that has a probability effectively greater than zero is the destination predicted by Newtonian theory, and that destination has a probability that is very nearly one. Hence large objects move just as Newton's theory predicts they will.



**Путь из А в Б.** “Классический” путь между двумя точками – это прямая линия. Фазы путей, которые расположены близко к классическому пути, имеют тенденцию увеличивать друг друга, в то время как фазы путей дальше от него имеют тенденцию уравновешиваться.

Пока что мы обсуждали идеи Фейнмана в контексте эксперимента с двойной прорезью. В этом эксперименте частицы запускались в направлении стенки с прорезями, и мы измеряли их местоположение на экране, помещенном за стенкой, в который попадали частицы. В общем, вместо лишь одной частицы, теория Фейнмана позволяет нам предсказывать



**The Paths from A to B** The “classical” path between two points is a straight line. The phases of paths that are near to the classical path tend to enhance each other, while the phases of paths farther from it tend to cancel out.

So far we have discussed Feynman’s ideas in the context of the double-slit experiment. In that experiment particles are fired toward a wall with slits, and we measure the location, on a screen placed beyond the wall, at which the particles end up. More generally, instead of just a single particle Feynman’s theory allows us to predict the



вероятные результаты "системы", которая могла бы быть частицей, рядом частиц, или даже всей Вселенной. Между начальным состоянием системы и нашим последующим определением ее свойств, эти свойства эволюционируют некоторым путем, который физики называют историей системы. В эксперименте с двойной прорезью, например, история частицы - просто ее путь. Так же, как для эксперимента с двойной прорезью возможность наблюдать, что частица приземлится в любой данной точке, зависит от всех путей, которые, могли бы там быть получены, Фейнман показал, что для общей системы вероятность любого наблюдения построена из всех возможных историй, которые могли бы привести к этому наблюдению. Из-за этого его метод, названный "суммой по историям" или "альтернативными историями", является формулировкой квантовой физики.

Теперь, когда у нас есть мнение о Фейнмановском подходе к квантовой физике, пришло время исследовать другой ключевой квантовый принцип, который мы будем использовать позже — принцип, что наблюдение системы должно менять ее поведение. Можем ли мы, как мы делаем, когда у нашей начальницы на подбородке пятно горчицы, осторожно наблюдать, но не вмешиваться? Нет.

probable outcomes of a “system,” which could be a particle, a set of particles, or even the entire universe. Between the initial state of the system and our later measurement of its properties, those properties evolve in some way, which physicists call the system’s history. In the double-slit experiment, for example, the history of the particle is simply its path. Just as for the double-slit experiment the chance of observing the particle to land at any given point depends upon all the paths that could have gotten it there, Feynman showed that, for a general system, the probability of any observation is constructed from all the possible histories that could have led to that observation. Because of that his method is called the “sum over histories” or “alternative histories” formulation of quantum physics.

Now that we have a feeling for Feynman’s approach to quantum physics, it is time to examine another key quantum principle that we will use later—the principle that observing a system must alter its course. Can’t we, as we do when our supervisor has a spot of mustard on her chin, discreetly watch but not interfere? No.

Согласно квантовой физике, Вы не можете "просто" наблюдать за чем-либо. Таким образом, квантовая физика признает, что, чтобы произвести наблюдение, Вы должны взаимодействовать с наблюдаемым Вами объектом. Например, чтобы видеть объект в традиционном смысле, мы светим на него светом. Освещение тыквы окажет на нее, конечно, не большой эффект. Но освещение даже тусклым светом крошечной квантовой частицы - то есть, стрельба в нее фотонами — действительно имеет ощутимый эффект, и опыт показывает, что это изменяет результаты эксперимента точно так, как описывает квантовая физика.

Предположим, что, как и раньше, мы направляем поток частиц на барьер в эксперименте с двойной прорезью и собираем данные о первом миллионе прошедших частиц. Когда мы определяем местоположение ряда частиц, оказавшихся в различных точках обнаружения, данные сформируют представленную картину интерференции, и когда мы добавим фазы, связанные со всеми возможными путями частицы от отправной точки А до ее точки обнаружения В, мы обнаружим, что вычисленная нами вероятность попадания в различные точки согласуется с этими данными.

Теперь предположим, что мы повторяем эксперимент,

According to quantum physics, you cannot “just” observe something. That is, quantum physics recognizes that to make an observation, you must interact with the object you are observing. For instance, to see an object in the traditional sense, we shine a light on it. Shining a light on a pumpkin will of course have little effect on it. But shining even a dim light on a tiny quantum particle—that is, shooting photons at it—does have an appreciable effect, and experiments show that it changes the results of an experiment in just the way that quantum physics describes.

Suppose that, as before, we send a stream of particles toward the barrier in the double-slit experiment and collect data on the first million particles to get through. When we plot the number of particles landing at various detection points the data will form the interference pattern pictured, and when we add the phases associated with all the possible paths from a particle’s starting point A to its detection point B, we will find that the probability we calculate of landing at various points agrees with that data.

Now suppose we repeat the experiment, this

на этот раз, освещая прорезы светом так, чтобы зафиксировать промежуточный пункт С, через который прошла частица. (С является положением либо одного разреза, либо другого). Это называют информацией "выбора пути", потому что она говорит нам, следовала ли каждая частица от А к прорезу 1 и к В, или от А к прорезу 2 и к В. Так как мы теперь хорошо знаем, через какую прорезь проходит каждая частица, наша сумма для этой частицы будет теперь включать только пути, которые проходят через прорезь 1, либо только пути, которые проходят через прорезь 2. Она никогда не будет включать и пути, проходящие через прорезь 1, и пути, проходящие через прорезь 2. Поскольку Фейнман объяснил картину интерференции, указав, что пути, которые проходят через одну прорезь, сталкиваются с путями, которые проходят через другую, если Вы включаете свет, чтобы определить, через какую прорезь проходят частицы, тем самым исключая другой вариант, Вы заставите картину интерференции исчезнуть. И действительно, если этот эксперимент выполнить, включение света изменяет результаты с картины интерференции на картину, подобную этой! Кроме того, мы можем изменять эксперимент, используя очень слабый свет, чтобы не все частицы взаимодействовали со светом. В

time shining lights on the slits so that we know an intermediate point, C, through which the particle passed. (C is the position of either one of the slits or the other.) This is called "which-path" information because it tells us whether each particle went from A to slit 1 to B, or from A to slit 2 to B. Since we now know through which slit each particle passed, the paths in our sum for that particle will now include only paths that travel through slit 1, or only paths that travel through slit 2. It will never include both the paths that go through slit 1 and the paths that pass through slit 2. Because Feynman explained the interference pattern by saying that paths that go through one slit interfere with paths that go through the other, if you turn on a light to determine which slit the particles pass through, thereby eliminating the other option, you will make the interference pattern disappear. And indeed, when the experiment is performed, turning on a light changes the results from the interference pattern, to a pattern like that! Moreover, we can vary the experiment by employing very faint light so that not all of the particles interact with the light. In

этом случае мы можем получить информацию о выборе пути только для некоторого подмножества частиц. Если мы затем разделим данные о прибытии частицы согласно тому, получали ли мы информацию о выборе пути или нет, мы обнаружим, что данные, имеющие отношение к подмножеству, для которого у нас нет никакой информации о выборе пути, сформируют картину интерференции, а подмножество данных, имеющих отношение к частицам, для которых у нас есть информация о выборе пути, интерференции не покажет.

Эта идея имеет важное значение для нашего понятия "прошлого". В Ньютоновой теории предполагается, что прошлое существует в виде определенного ряда событий. Если Вы видите, что ваза, которую Вы купили в Италии в прошлом году, лежит разбитая на полу, а Ваш малыш, стоящий над ней, выглядит застенчиво, Вы можете проследить назад события, которые привели к неприятности: маленькие пальцы разжимаются, ваза падает и разбивается на тысячу частей, как она была обнаружена. Фактически, учитывая полные данные о настоящем, законы Ньютона позволяют вычислить полную картину прошлого. Это совместимо с нашим интуитивным пониманием, что, или неприятное, или счастливое, у мира есть определенное прошлое. Возможно, не было ни

that case we are able to obtain which-path information for only some subset of the particles. If we then divide the data on particle arrivals according to whether or not we obtained which-path information, we find that data pertaining to the subset for which we have no which-path information will form an interference pattern, and the subset of data pertaining to the particles for which we do have which-path information will not show interference.

This idea has important implications for our concept of "the past." In Newtonian theory, the past is assumed to exist as a definite series of events. If you see that vase you bought in Italy last year lying smashed on the floor and your toddler standing over it looking sheepish, you can trace backward the events that led to the mishap: the little fingers letting go, the vase falling and exploding into a thousand pieces as it hits. In fact, given complete data about the present, Newton's laws allow one to calculate a complete picture of the past. This is consistent with our intuitive understanding that, whether painful or joyful, the world has a definite past. There may have been no



одного наблюдения, но прошлое существует так же несомненно, как будто Вы сделали серию его снимков. Но нельзя сказать, что квантовый баккиболл проделал определенный путь от источника до экрана. Мы могли бы точно определить местоположение баккиболла, наблюдая за ним, но между нашими наблюдениями требуются все пути. Квантовая физика говорит нам, что независимо от того, насколько детально наше наблюдение настоящего, (ненаблюдаемое) прошлое, как и будущее, неопределенно и существует только в виде спектра возможностей. У Вселенной, согласно квантовой физике, нет единственного прошлого или истории.

Факт, что прошлое не принимает определенной формы, означает, что наблюдения системы, которые Вы делаете в настоящем, затрагивают ее прошлое. Это довольно наглядно подчеркнул образец эксперимента, продуманного физиком Джоном Уилером, названного экспериментом с отложенным выбором. Кратко, эксперимент с отложенным выбором похож на только что описанный нами эксперимент с двойной прорезью, в котором у Вас есть возможность выбора, наблюдать ли путь, проделанный частицей, за исключением того, что в эксперименте с отложенным выбором Вы откладываете свое решение, наблюдать путь или нет, до самого момента, пока частица

one watching, but the past exists as surely as if you had taken a series of snapshots of it. But a quantum buckyball cannot be said to have taken a definite path from source to screen. We might pin down a buckyball's location by observing it, but in between our observations, it takes all paths. Quantum physics tells us that no matter how thorough our observation of the present, the (unobserved) past, like the future, is indefinite and exists only as a spectrum of possibilities. The universe, according to quantum physics, has no single past, or history.

The fact that the past takes no definite form means that observations you make on a system in the present affect its past. That is underlined rather dramatically by a type of experiment thought up by physicist John Wheeler, called a delayed-choice experiment. Schematically, a delayed-choice experiment is like the double-slit experiment we just described, in which you have the option of observing the path that the particle takes, except in the delayed-choice experiment you postpone your decision about whether or not to observe the path until just before the particle

не попадает на детекторный экран.

Эксперименты с отложенным выбором имеют своим результатом данные, идентичные тем, что мы получаем, когда хотим наблюдать (или не наблюдать) информацию о выборе пути, непосредственно следя за прорезями. Но в этом случае путь каждой частицы — то есть, ее прошлое — будет определен намного позже того, как она прошла через прорези, и, по-видимому, должна была «решить», перемещаться ли только через одну прорезь, не вызывая интерференцию, или через обе, вызывая.

Вилер даже рассматривал космическую версию эксперимента, в которой рассматриваемыми частицами служат фотоны, испускаемые сильными квазарами с расстояния в миллиарды световых лет. Такой свет мог быть расщеплен на две траектории и перефокусирован в направлении Земли гравитационной линзой галактики, лежащей посередине. Хотя этот эксперимент недостижим при нынешних технологиях, если мы могли бы собрать достаточно много фотонов этого света, они должны сформировать картину интерференции. Все же, если мы помещаем устройство для получения информации о выборе пути сразу перед детекторным экраном, эта картина должна исчезнуть. Выбор, избрать ли один путь или оба, в этом случае был бы сделан миллиарды лет назад,

hits the detection screen.

Delayed-choice experiments result in data identical to those we get when we choose to observe (or not observe) the which-path information by watching the slits themselves. But in this case the path each particle takes—that is, its past—is determined long after it passed through the slits and presumably had to “decide” whether to travel through just one slit, which does not produce interference, or both slits, which does.

Wheeler even considered a cosmic version of the experiment, in which the particles involved are photons emitted by powerful quasars billions of light-years away. Such light could be split into two paths and refocused toward earth by the gravitational lensing of an intervening galaxy. Though the experiment is beyond the reach of current technology, if we could collect enough photons from this light, they ought to form an interference pattern. Yet if we place a device to measure which-path information shortly before detection, that pattern should disappear. The choice whether to take one or both paths in this case would have been made billions of years ago,

до того как была сформирована Земля или, возможно, даже наше Солнце, и все же нашим наблюдением в лаборатории мы повлияем на этот выбор.

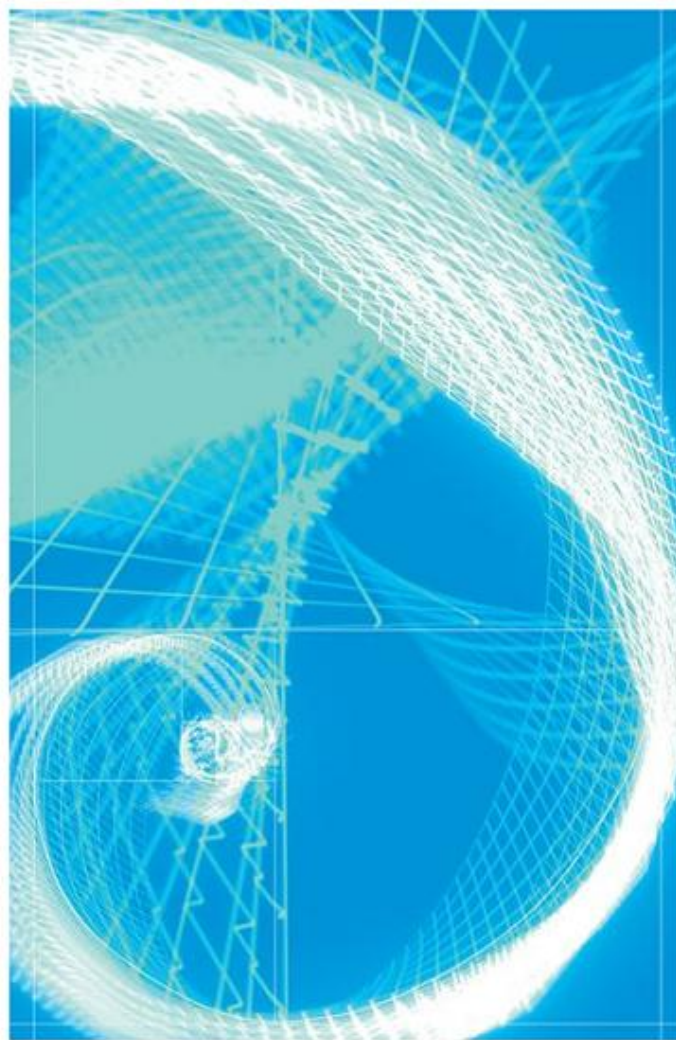
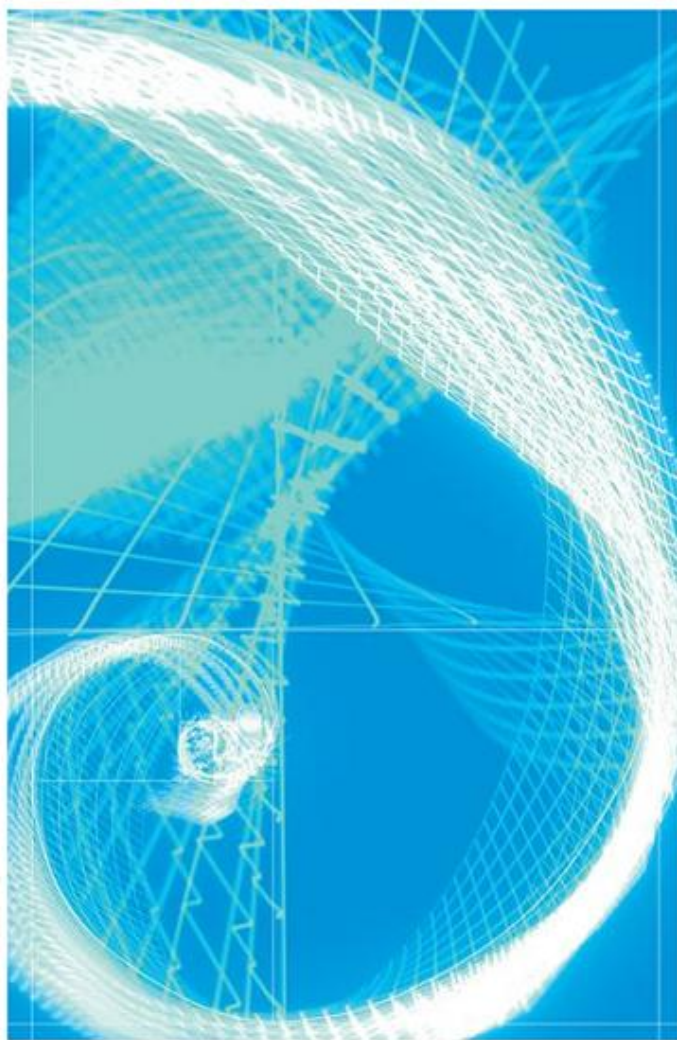
В этой главе мы иллюстрировали квантовую физику, используя эксперимент с двойной прорезью. В дальнейшем мы применим формулировку квантовой механики Фейнмана к Вселенной в целом. Мы увидим, что, как и частица, Вселенная имеет не одну лишь единственную историю, но у каждой возможной истории есть собственная вероятность; и наши наблюдения за ее текущим состоянием затрагивают ее прошлое и обуславливают различные истории Вселенной, также как наблюдения за частицами в эксперименте с двойной прорезью затрагивают прошлое частиц. Это рассмотрение покажет, как законы природы в нашей Вселенной возникли из Большого Взрыва. Но прежде чем мы исследуем, как возникли законы, мы немного поговорим о том, что эти законы собою представляют, и о некоторых тайнах, которые они за собой влекут.

before the earth or perhaps even our sun was formed, and yet with our observation in the laboratory we will be affecting that choice.

In this chapter we have illustrated quantum physics employing the double-slit experiment. In what follows we will apply Feynman's formulation of quantum mechanics to the universe as a whole. We will see that, like a particle, the universe doesn't have just a single history, but every possible history, each with its own probability; and our observations of its current state affect its past and determine the different histories of the universe, just as the observations of the particles in the double-slit experiment affect the particles' past. That analysis will show how the laws of nature in our universe arose from the big bang. But before we examine how the laws arose, we'll talk a little bit about what those laws are, and some of the mysteries that they provoke.







5



ТЕОРИЯ ВСЕГО

5



THE THEORY  
OF EVERYTHING

*Самое непостижимое во Вселенной то, что она постижима.*

- АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

**В**СЕЛЕННАЯ ПОСТИЖИМА, потому что ею управляют научные законы; то есть ее поведение можно смоделировать. Но что это за законы или модели? Первая сила, описанная математическим языком, была силой тяжести. Закон притяжения Ньютона, опубликованный им в 1687 году, гласит, что каждый объект во Вселенной притягивает любой другой объект с силой пропорциональной его массе. Он произвел значительное впечатление на интеллектуалов того времени, потому что в первый раз было показано, что минимум один аспект Вселенной мог быть точно смоделирован, что привело к созданию математического аппарата, чтобы просчитывать это. Идея, что существуют законы природы, была похожа на ту, за что Галилея обвинили в ереси около 50 лет до этого. Например, в Библии говорится, что Иисус Навин молился, чтобы Солнце и Луна остановились, так чтобы у него

*The most incomprehensible thing about the universe is that it is comprehensible.*

—ALBERT EINSTEIN

**T**HE UNIVERSE IS COMPREHENSIBLE because it is governed by scientific laws; that is to say, its behavior can be modeled. But what are these laws or models? The first force to be described in mathematical language was gravity. Newton's law of gravity, published in 1687, said that every object in the universe attracts every other object with a force proportional to its mass. It made a great impression on the intellectual life of its era because it showed for the first time that at least one aspect of the universe could be accurately modeled, and it established the mathematical machinery to do so. The idea that there are laws of nature brings up issues similar to that for which Galileo had been convicted of heresy about fifty years earlier. For instance, the Bible tells the story of Joshua praying for the sun and moon to stop in their trajectories so he would

был бы лишний светлый день, чтобы успеть закончить сражение Аморецев в Ханаане. Как пишется в Библии, Солнце продолжало светить целые сутки. Теперь мы знаем, что это означало бы, что Земля прекратила вращаться. Если Земля остановится, в соответствии с законами Ньютона все незакрепленные объекты на ней будут продолжать двигаться по инерции со скоростью вращения Земли (1700 км/час на экваторе) — высокая цена за продолжение солнечного дня. Однако самого Ньютона это не волновало, поскольку, как мы уже отмечали, Ньютон верил в то, что Бог мог вмешиваться и вмешивался в функционирование Вселенной.

Следующим аспектом Вселенной, для которого были открыты законы или модели, являются электрические и магнитные силы. Их поведение подобно гравитации, с важным отличием, что два электрических заряда или два магнита одного типа отталкивают друг друга, а разного типа — притягивают. Электрические и магнитные силы более сильные, чем силы гравитации, но мы обычно не замечаем их в повседневной жизни, потому что макроскопические тела содержат почти равное количество положительных и отрицательных зарядов. Это означает, что электрические и магнитные силы между двумя макроскопическими телами

have extra daylight to finish fighting the Amorites in Canaan. According to the book of Joshua, the sun stood still for about a day. Today we know that that would have meant that the earth stopped rotating. If the earth stopped, according to Newton's laws anything not tied down would have remained in motion at the earth's original speed (1,100 miles per hour at the equator)—a high price to pay for a delayed sunset. None of this bothered Newton himself, for as we've said, Newton believed that God could and did intervene in the workings of the universe.

The next aspects of the universe for which a law or model was discovered were the electric and magnetic forces. These behave like gravity, with the important difference that two electric charges or two magnets of the same kind repel each other, while unlike charges or unlike magnets attract. Electric and magnetic forces are far stronger than gravity, but we don't usually notice them in everyday life because a macroscopic body contains almost equal numbers of positive and negative electrical charges. This means that the electric and magnetic forces between two macroscopic bodies



почти уравнивают друг друга, в отличие от сил гравитации, которые складываются.

Наше нынешнее понятие об электричестве и магнетизме были сформированы за период около ста лет, с середины 18 и до середины 19 веков, когда физики нескольких стран, проводя тщательные эксперименты, изучали электрические и магнитные силы. Одним из важнейших открытий является то, что электрические и магнитные силы взаимосвязаны. Движение электрического заряда влияет на магнит, и движение магнита воздействует на электрические заряды. Первым, кто понял, что существует некоторая взаимосвязь, был датский физик Ганс Христиан Эрстед. Проводя лекцию в университете в 1820 году, Эрстед заметил, что электрический ток из батареи, которую он использовал, влияет на стрелку рядом находящегося компаса. Он вскоре осознал, что электрический ток создал магнитную силу, и ввел новый термин "электромагнетизм". Несколько лет спустя, британский физик Майкл Фарадей обосновал, что - выражаясь современными терминами - если магнитное поле возникает из электрического тока, то и магнитное поле должно производить электрический ток.

nearly cancel each other out, unlike the gravitational forces, which all add up.

Our current ideas about electricity and magnetism were developed over a period of about a hundred years from the mid-eighteenth to the mid-nineteenth century, when physicists in several countries made detailed experimental studies of electric and magnetic forces. One of the most important discoveries was that electrical and magnetic forces are related: A moving electrical charge causes a force on magnets, and a moving magnet causes a force on electrical charges. The first to realize there was some connection was Danish physicist Hans Christian Ørsted. While setting up for a lecture he was to give at the university in 1820, Ørsted noticed that the electric current from the battery he was using deflected a nearby compass needle. He soon realized that moving electricity created a magnetic force, and coined the term "electromagnetism." A few years later British scientist Michael Faraday reasoned that—expressed in modern terms—if an electric current could cause a magnetic field, a magnetic field should be able to produce an electric current.

Он продемонстрировал этот эффект в 1831 году. Четырнадцатью годами спустя, Фарадей также открыл взаимосвязь между электромагнетизмом и светом, когда демонстрировал, что сильное магнитное поле может воздействовать на свойства поляризованного света.

Фарадей официально был малообразованным. Он родился в семь кузнеца в пригороде Лондона и оставил школу в возрасте 13 лет, чтобы работать рассыльным и переплетчиком в книжном магазине. Там, спустя годы, он изучил науки, читая книги, с которыми он имел дело, и, проводя простые и недорогие эксперименты в свое свободное время. В конце концов, он устроился работать ассистентом в лабораторию великого химика Сэра Хемфри Деви. Фарадей будет продолжать работать там все свои оставшиеся 45 лет, и после смерти Деви, сменит его. Фарадей имел проблемы с математикой и никогда ее хорошо не изучал, поэтому ему было сложно постигать теоретическую картину сложного электромагнитного феномена, который он наблюдал в своей лаборатории. Тем не менее, он справился.

Одним из величайших его открытий была идея силового поля. В наши дни, благодаря книгам и кинофильмам о пучеглазых

He demonstrated that effect in 1831. Fourteen years later Faraday also discovered a connection between electromagnetism and light when he showed that intense magnetism can affect the nature of polarized light.

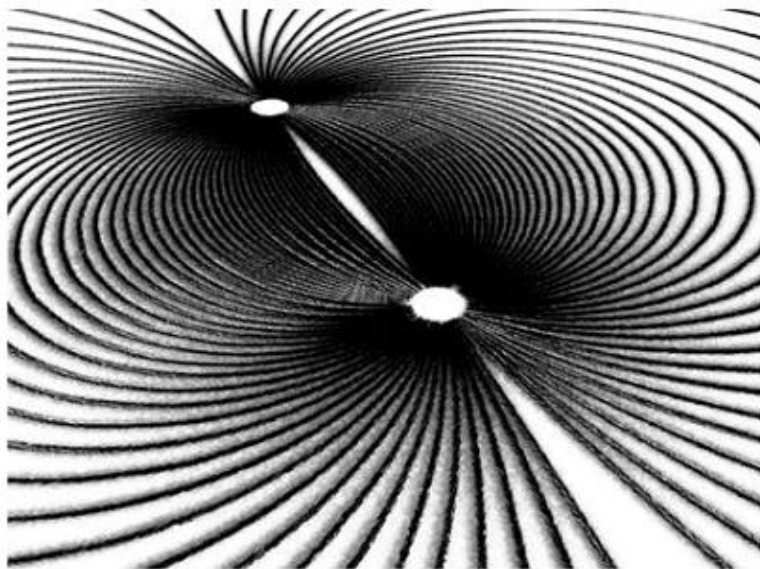
Faraday had little formal education. He had been born into a poor blacksmith's family near London and left school at age thirteen to work as an errand boy and bookbinder in a bookshop. There, over the years, he learned science by reading the books he was supposed to care for, and by performing simple and cheap experiments in his spare time. Eventually he obtained work as an assistant in the laboratory of the great chemist Sir Humphry Davy. Faraday would stay on for the remaining forty-five years of his life and, after Davy's death, succeed him. Faraday had trouble with mathematics and never learned much of it, so it was a struggle for him to conceive a theoretical picture of the odd electromagnetic phenomena he observed in his laboratory. Nevertheless, he did.

One of Faraday's greatest intellectual innovations was the idea of force fields. These days, thanks to books and movies about bug-eyed

пришельцах и их космических кораблях, большинство людей знакомо с этим понятием, поэтому ему следовало бы получить гонорар. Через века между Ньютоном и Фарадеем, одной из величайших тайн физики было то, что, согласно его законам, эти силы действуют через пустое пространство, которое разделяет взаимодействующие объекты. Фарадею не нравилось это. Он считал, что чтобы переместить объект, нечто должно войти с ним в контакт. И, поэтому, он представлял пространство между электрическими разрядами и магнитами, как заполненное невидимыми трубками, которые физически притягивают и отталкивают. Фарадей назвал эти трубки силовым полем. Чтобы наглядно продемонстрировать силовое поле, нужно выполнить школьный опыт, в котором стеклянная тарелка помещена над куском магнита, и иголки распределяются по стеклу. Металлические опилки двигаются так, если бы их подталкивала невидимая сила, и выстраиваются по силовым линиям от одного магнитного полюса к другому. Этот опыт наглядно демонстрирует невидимые магнитные силы, пронизывающие пространство. Сегодня мы считаем, что все силы распространяются через поля. Это важная концепция в современной физике — так же, как и в научной фантастике.

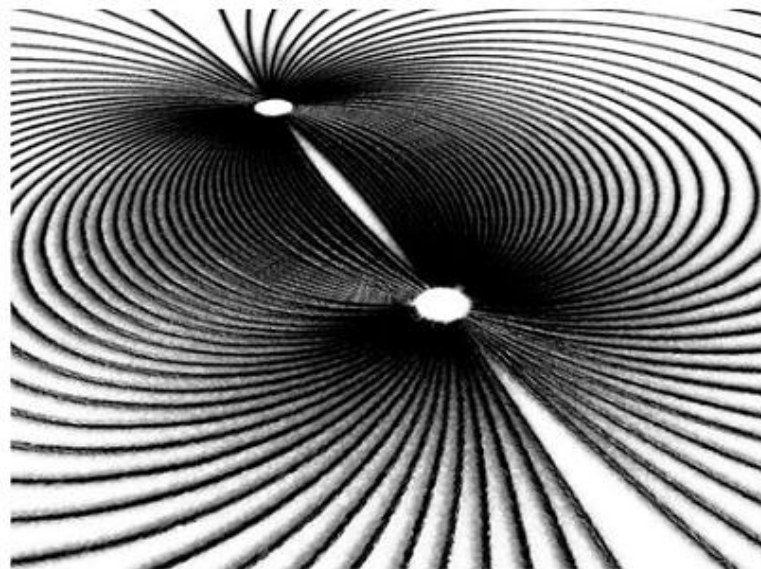
aliens and their starships, most people are familiar with the term, so maybe he should get a royalty. But in the centuries between Newton and Faraday one of the great mysteries of physics was that its laws seemed to indicate that forces act across the empty space that separates interacting objects. Faraday didn't like that. He believed that to move an object, something has to come in contact with it. And so he imagined the space between electric charges and magnets as being filled with invisible tubes that physically do the pushing and pulling. Faraday called those tubes a force field. A good way to visualize a force field is to perform the schoolroom demonstration in which a glass plate is placed over a bar magnet and iron filings spread on the glass. With a few taps to overcome friction, the filings move as if nudged by an unseen power and arrange themselves in a pattern of arcs stretching from one pole of the magnet to the other. That pattern is a map of the unseen magnetic force that permeates space. Today we believe that all forces are transmitted by fields, so it is an important concept in modern physics—as well as science fiction.





**Силовое поле.** Силовое поле стержневого магнита, проиллюстрированное реакцией железных опилок.

Несколько десятилетий понимание электромагнетизма не изменялось, оставаясь на уровне знания нескольких эмпирических законов: некоторое подозрение, что электричество и магнетизм близко, если не мистически, связаны; идея, что они имеют какое-то отношение к свету; и зарождающаяся концепция поля. Как минимум одиннадцать



**Force Fields** The force field of a bar magnet, as illustrated by the reaction of iron filings.

For several decades our understanding of electromagnetism remained stalled, amounting to no more than the knowledge of a few empirical laws: the hint that electricity and magnetism were closely, if mysteriously, related; the notion that they had some sort of connection to light; and the embryonic concept of fields. At least eleven



теорий электромагнетизма существовало, но каждая из них давала трещину. Но в 1860-е годы шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл облек идеи Фарадея в математическую оболочку, что позволило объяснить близкую и мистическую связь между электричеством, магнетизмом и светом. Результатом было набор уравнений, описывающих и электрические, и магнитные силы, как демонстрация общей физической сущности - электромагнитного поля. Максвелл объединил электричество и магнетизм в одну силу. Более того он показал, что электромагнитное поле может распространяться через пространство как волна. Скорость этой волны определяется членом его уравнений, которое он определил по экспериментальным данным, которые он наблюдал несколько лет. К своему изумлению, скорость, которую он вычислил, оказалась эквивалентна скорости света, рассчитанной экспериментально с точностью до одного процента. Он обнаружил, что свет сам по себе является электромагнитной волной!

Сегодня уравнения, описывающие электрические и магнитные поля, называются уравнениями Максвелла. Некоторые слышали о них, но они,

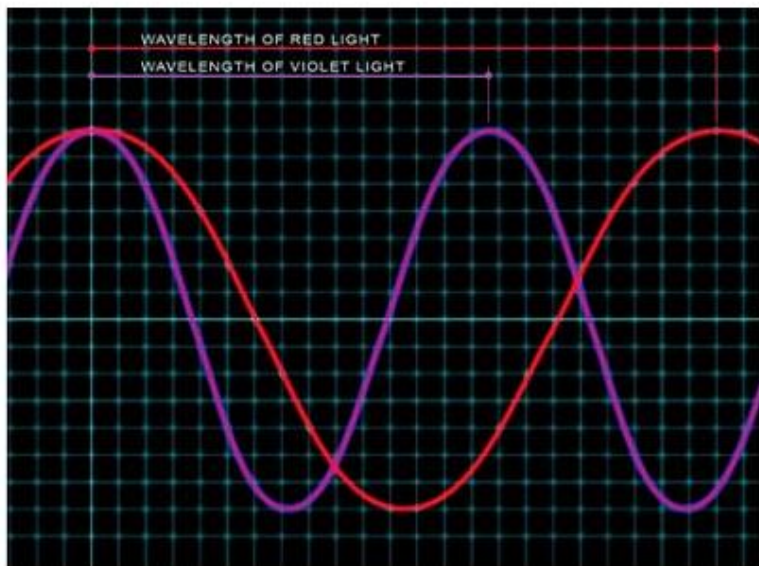
theories of electromagnetism existed, every one of them flawed. Then, over a period of years in the 1860s, Scottish physicist James Clerk Maxwell developed Faraday's thinking into a mathematical framework that explained the intimate and mysterious relation among electricity, magnetism, and light. The result was a set of equations describing both electric and magnetic forces as manifestations of the same physical entity, the electromagnetic field. Maxwell had unified electricity and magnetism into one force. Moreover, he showed that electromagnetic fields could propagate through space as a wave. The speed of that wave is governed by a number that appeared in his equations, which he calculated from experimental data that had been measured a few years earlier. To his astonishment the speed he calculated equaled the speed of light, which was then known experimentally to an accuracy of 1 percent. He had discovered that light itself is an electromagnetic wave!

Today the equations that describe electric and magnetic fields are called Maxwell's equations. Few people have heard of them, but they are

вероятно, являются самыми важными уравнениями, которые нам известны. Они не только управляют работой от простейших домашних приборов до компьютера, но они также описывают волны, отличные от света, такие как микроволны, радиоволны, инфракрасные волны и рентгеновские лучи. Все они отличаются от видимого света только одним - длиной волны. Радиоволны имеют длину волны метр или более, тогда как длина волны видимого света - нескольких десятых микрометра, а рентгеновские лучи короче нескольких сотых микрометра. Наше Солнце излучает все длины волн, но его излучение наиболее интенсивное в видимом диапазоне волн. Это не случайно, что длины волн, которые мы способны видеть невооруженным глазом, совпадают с теми длинами, которые Солнце излучает особенно сильно. Вероятно, что наши глаза имеют способность замечать электромагнитное излучение строго в этом диапазоне, потому что этот диапазон излучения наиболее пригодный для них. Если мы когда-либо столкнемся с существами с других планет, они вероятно будут иметь способность "видеть" излучение в каком-то диапазоне длин волн, которое их Солнце излучает наиболее сильно, учитывая такие факторы, как светозапорные характеристики

probably the most commercially important equations we know. Not only do they govern the working of everything from household appliances to computers, but they also describe waves other than light, such as microwaves, radio waves, infrared light, and X-rays. All of these differ from visible light in only one respect—their wavelength. Radio waves have wavelengths of a meter or more, while visible light has a wavelength of a few ten-millionths of a meter, and X-rays a wavelength shorter than a hundred-millionth of a meter. Our sun radiates at all wavelengths, but its radiation is most intense in the wavelengths that are visible to us. It's probably no accident that the wavelengths we are able to see with the naked eye are those in which the sun radiates most strongly: It's likely that our eyes evolved with the ability to detect electromagnetic radiation in that range precisely because that is the range of radiation most available to them. If we ever run into beings from other planets, they will probably have the ability to "see" radiation at whatever wavelengths their own sun emits most strongly, modulated by factors such as the light-blocking characteristics of

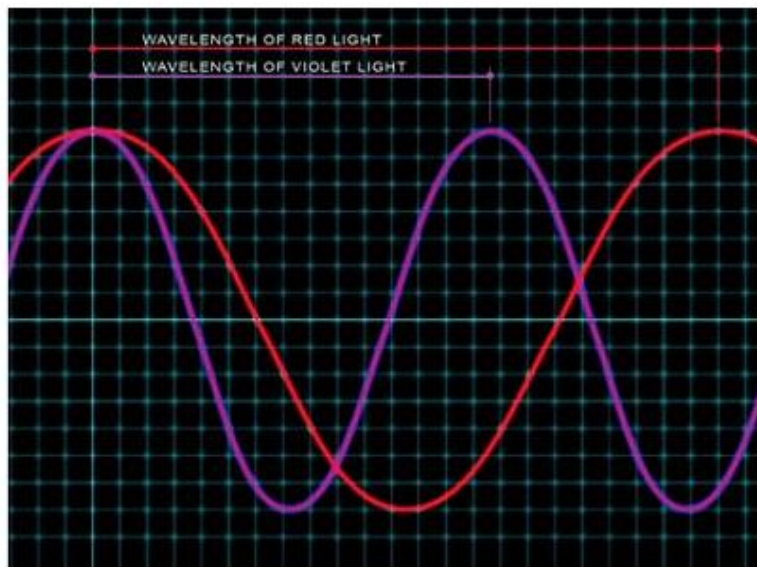
от пыли и газов в атмосфере их планеты. Таким образом, пришельцы, которые эволюционировали при рентгеновском излучении, могли бы сделать хорошую карьеру в службе безопасности аэропорта.



**Длина волны.** Микроволны, радиоволны, инфракрасный свет, рентген и разные цвета света — отличаются только своей длиной волны.

Уравнения Максвелла предписывают, что электромагнитные волны распространяются со скоростью около 300000 километров в секунду или около 670 миллионов миль в час. Но ссылаться скорость ничего не означает,

the dust and gases in their planet's atmosphere. So aliens who evolved in the presence of X-rays might have a nice career in airport security.



**Wavelength** Microwaves, radio waves, infrared light, X-rays—and different colors of light—differ only in their wavelengths.

Maxwell's equations dictate that electromagnetic waves travel at a speed of about 300,000 kilometers a second, or about 670 million miles per hour. But to quote a speed means nothing



если Вы не определяете систему координат, относительно которой измерена скорость. Это не то, о чем Вы обычно должны думать в повседневной жизни. Когда на Вашем спидометре 60 миль в час, подразумевается, что Ваша скорость измерена относительно дороги, а не черной дыры в центре Млечного пути. Но даже в повседневной жизни есть случаи, в которых Вы должны принять во внимание систему координат. Например, если Вы несете чашку чая по проходу реактивного самолета в полете, Вы могли бы сказать, что Ваша скорость составляет 2 мили в час. Кто-то на Земле, однако, мог бы сказать, что Вы двигаетесь со скоростью в 572 мили в час. Как бы Вы не считали, что один или другой из тех наблюдателей больше прав, имейте в виду, что, потому что Земля вращается вокруг Солнца, кто-то, наблюдая за Вами с его поверхности, не согласился бы с обоими и сказал бы, что Вы двигаетесь приблизительно в 18 миль в секунду, не говоря уже о зависти Вашему комфорту. В свете таких разногласий, когда Максвелл утверждал, что обнаружил "скорость света", получающуюся из его уравнений, естественный вопрос был, какова скорость света в уравнениях Максвелла,

unless you specify a frame of reference relative to which the speed is measured. That's not something you usually need to think about in everyday life. When a speed limit sign reads 60 miles per hour, it is understood that your speed is measured relative to the road and not the black hole at the center of the Milky Way. But even in everyday life there are occasions in which you have to take into account reference frames. For example, if you carry a cup of tea up the aisle of a jet plane in flight, you might say your speed is 2 miles per hour. Someone on the ground, however, might say you were moving at 572 miles per hour. Lest you think that one or the other of those observers has a better claim to the truth, keep in mind that because the earth orbits the sun, someone watching you from the surface of that heavenly body would disagree with both and say you are moving at about 18 miles per second, not to mention envying your air-conditioning. In light of such disagreements, when Maxwell claimed to have discovered the "speed of light" popping out of his equations, the natural question was, what is the speed of light in Maxwell's equations



измеренная относительно?

Нет никакой причины полагать, что параметр скорости в уравнениях Максвелла - скорость, измеренная относительно земли. Его уравнения, в конце концов, относятся ко всей Вселенной. Альтернативный ответ, который рассматривался некоторое время, - то, что его уравнения определяют скорость света относительно ранее необнаруженной среды, пронизывающее все пространство, названной люминофорным эфиром, или если коротко, просто эфир, который был термином Аристотеля для вещества, которое, как он полагал, заполняет всю Вселенную вне земной сферы. Этот гипотетический эфир был бы средой, через которую распространяются электромагнитные волны, как звук распространяется через воздух. Если бы эфир существовал, был бы абсолютный стандарт покоя (то есть, покоя относительно эфира) и, следовательно, абсолютный способ определить движение. Эфир обеспечил бы привилегированную систему отсчета всюду по всей Вселенной, относительно которой могла быть измерена скорость любого объекта. Таким образом, эфир, как постулировалось, существовал только теоретически, побуждая некоторых ученых на поиски способа изучить его, или, по крайней мере, подтвердить его

measured relative to?

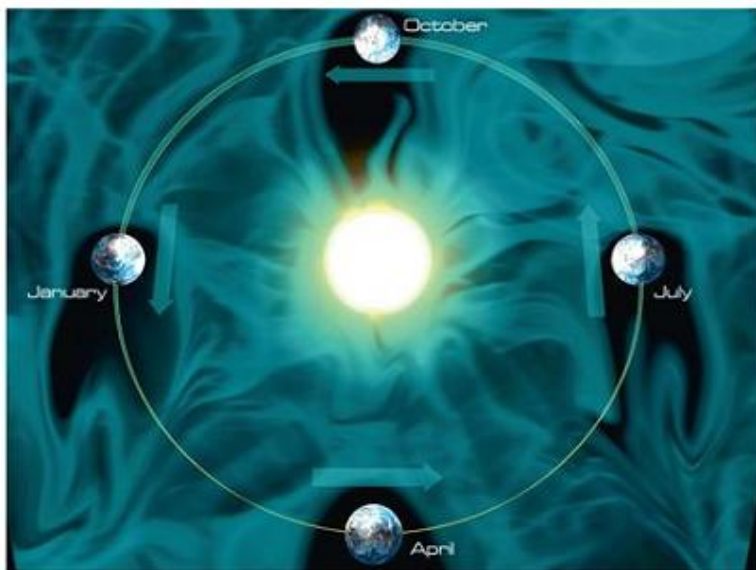
There is no reason to believe that the speed parameter in Maxwell's equations is a speed measured relative to the earth. His equations, after all, apply to the entire universe. An alternative answer that was considered for a while is that his equations specify the speed of light relative to a previously undetected medium permeating all space, called the luminiferous ether, or for short, simply the ether, which was Aristotle's term for the substance he believed filled all of the universe outside the terrestrial sphere. This hypothetical ether would be the medium through which electromagnetic waves propagate, just as sound propagates through air. If the ether existed, there would be an absolute standard of rest (that is, rest with respect to the ether) and hence an absolute way of defining motion as well. The ether would provide a preferred frame of reference throughout the entire universe, against which any object's speed could be measured. So the ether was postulated to exist on theoretical grounds, setting some scientists off on a search for a way to study it, or at least to confirm its

существование. Одним из этих ученых был сам Максвелл.

Если Вы мчитесь через воздух к звуковой волне, волна приближается к Вам быстрее, и если Вы мчитесь от нее, это приближается к Вам более медленно. Точно так же, если бы был эфир, то скорость света изменилась бы в зависимости от Вашего движения относительно эфира. Фактически, если свет действовал бы подобно звуку, так же, как люди на сверхзвуковом самолете никогда не будут слышать звука, который доносится из самолета, также путешественники, мчащиеся достаточно быстро через эфир были бы в состоянии опередить световую волну. Рассуждая таким образом, Максвелл предложил эксперимент. Если есть эфир, Земля должна перемещаться сквозь него, поскольку она вращается вокруг Солнца. И так как Земля движется в другом направлении в январе чем, скажем, в апреле или июле, можно было бы заметить небольшое различие в скорости света в разное время года — см. рисунок ниже.

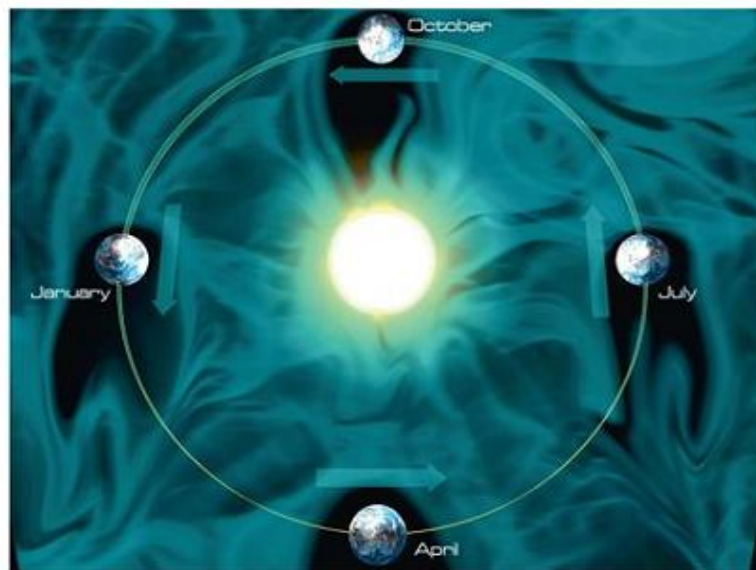
existence. One of those scientists was Maxwell himself.

If you race through the air toward a sound wave, the wave approaches you faster, and if you race away, it approaches you more slowly. Similarly, if there were an ether, the speed of light would vary depending on your motion relative to the ether. In fact, if light worked the way sound does, just as people on a supersonic jet will never hear any sound that emanates from behind the plane, so too would travelers racing quickly enough through the ether be able to outrun a light wave. Working from such considerations, Maxwell suggested an experiment. If there is an ether, the earth must be moving through it as it orbits the sun. And since the earth is traveling in a different direction in January than, say, in April or July, one ought to be able to observe a tiny difference in the speed of light at different times of the year—see the figure below.



**Движение Через Эфир.** Если бы мы двигались через эфир, то мы должны быть в состоянии обнаружить это движение, наблюдая сезонные различия в скорости света.

От публикации этой идеи в «Трудах Королевского Общества» Максвелла отговаривал его редактор, который не считал, что эксперимент сработает. Но в 1879, незадолго до того, как он умер в сорок восемь лет от рака желудка, Максвелл послал письмо о этом своему другу. Письмо было издано посмертно в журнале *Nature*, где его



**Moving Through the Ether** If we were moving through the ether, we ought to be able to detect that motion by observing seasonal differences in the speed of light.

Maxwell was talked out of publishing his idea in *Proceedings of the Royal Society* by its editor, who didn't think the experiment would work. But in 1879, shortly before he died at age forty-eight of painful stomach cancer, Maxwell sent a letter on the subject to a friend. The letter was published posthumously in the journal *Nature*, where it was

прочитал, среди прочих, американский физик по имени Альберт Майкельсон. Вдохновленный предположением Максвелла, в 1887 году Майкельсон и Эдвард Морли выполнили очень чувствительный эксперимент, задуманный, чтобы измерить скорость, с которой Земля движется сквозь эфир. Их идея состояла в том, чтобы сравнить скорость света в двух различных направлениях, под прямым углом. Если бы скорость света была постоянным числом относительно эфира, измерения должны были обнаружить скорости света, которые отличались бы в зависимости от направления луча. Но Майкельсон и Морли не заметили такого различия.

Результат эксперимента Майкельсона и Морли находится ясно в конфликте с моделью электромагнитных волн, распространяющихся через эфир, и заставил отказаться от модели эфира. Но цель Майкельсона состояла в том, чтобы измерить скорость Земли относительно эфира, а не доказать или опровергнуть гипотезу эфира, и что он открыл, не подтолкнуло его прийти к заключению, что эфира не существует. Никто больше также не пришел к такому выводу. Известный физик сэр Уильям Томсон (Лорд Келвин) сказал

read by, among others, an American physicist named Albert Michelson. Inspired by Maxwell's speculation, in 1887 Michelson and Edward Morley carried out a very sensitive experiment designed to measure the speed at which the earth travels through the ether. Their idea was to compare the speed of light in two different directions, at right angles. If the speed of light were a fixed number relative to the ether, the measurements should have revealed light speeds that differed depending on the direction of the beam. But Michelson and Morley observed no such difference.

The outcome of the Michelson and Morley experiment is clearly in conflict with the model of electromagnetic waves traveling through an ether, and should have caused the ether model to be abandoned. But Michelson's purpose had been to measure the speed of the earth relative to the ether, not to prove or disprove the ether hypothesis, and what he found did not lead him to conclude that the ether didn't exist. No one else drew that conclusion either. In fact, the famous physicist Sir William Thomson (Lord Kelvin) said



в 1884 году, что эфир был "единственной субстанцией, в которой мы уверены в динамике. Единственное, в чем мы уверены, так это в истинности и реальности люминофорного эфира.

Как можно верить в эфир, не смотря на результаты эксперимента Майкельсона - Морли? Как мы уже говорили, люди часто пытаются спасти изобретенную модель специальными дополнениями. Некоторые постулировали, что Земля тянула эфир за собой, таким образом, мы фактически не двигались относительно него. Голландский физик Хендрик Антон Лоренц и ирландский физик Джордж Фрэнсис Фицджеральд предположили, что в структуре, которая перемещалась относительно эфира, вероятно из-за некоторого все же неизвестного механического эффекта, ход времени замедляется, и расстояния сокращаются таким образом, что измерение скорости света дает то же самое значение. Такие усилия спасти понятие эфира продолжались в течение почти двадцати лет до замечательной статьи молодого и неизвестного клерка в патентном бюро в Берне, Альберта Эйнштейна.

Эйнштейну было двадцать шесть лет в 1905, когда он опубликовал свою работу "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" ("К электродинамике

in 1884 that the ether was "the only substance we are confident of in dynamics. One thing we are sure of, and that is the reality and substantiality of the luminiferous ether."

How can you believe in the ether despite the results of the Michelson-Morley experiment? As we've said often happens, people tried to save the model by contrived and ad hoc additions. Some postulated that the earth dragged the ether along with it, so we weren't actually moving with respect to it. Dutch physicist Hendrik Antoon Lorentz and Irish physicist George Francis FitzGerald suggested that in a frame that was moving with respect to the ether, probably due to some yet-unknown mechanical effect, clocks would slow down and distances would shrink, so one would still measure light to have the same speed. Such efforts to save the aether concept continued for nearly twenty years until a remarkable paper by a young and unknown clerk in the patent office in Berne, Albert Einstein.

Einstein was twenty-six in 1905 when he published his paper "Zur Elektrodynamik bewegter Körper" ("On the Electrodynamics of

движущихся тел"). В ней он сделал простое предположение, что законы физики и в особенности скорость света, должны быть одинаковыми для всех равномерно движущихся наблюдателей. Эта идея совершила революцию в нашем понятии о пространстве и времени. Чтобы понять почему, вообразите два события, которые имеют место в той же самой точке, но в разное время в реактивном самолете. Для наблюдателя на самолете расстояние между этими двумя событиями будет нулевым. Но для второго наблюдателя на Земле события будут отделены расстоянием, самолет пролетел за время между событиями. Это показывает, что два наблюдателя, которые двигаются друг относительно друга, не смогут прийти к соглашению о пройденном расстоянии между двумя событиями.

Теперь предположите, что эти два наблюдателя наблюдают луч света, направляющегося от хвоста самолета к его носу. Так же, как в вышеупомянутом примере, они не смогут договариваться о расстоянии, которое прошел свет от хвоста самолета к его носу. Так как скорость - это расстояние, пройденное за определенное время, это значит, что если они придут к соглашению о скорости, с которой распространяется луч - скорости света - это значит, что они не придут к соглашению об интервале времени

Moving Bodies"). In it he made the simple assumption that the laws of physics and in particular the speed of light should appear to be the same to all uniformly moving observers. This idea, it turns out, demands a revolution in our concept of space and time. To see why, imagine two events that take place at the same spot but at different times, in a jet aircraft. To an observer on the jet there will be zero distance between those two events. But to a second observer on the ground the events will be separated by the distance the jet has traveled in the time between the events. This shows that two observers who are moving relative to each other will not agree on the distance between two events.

Now suppose the two observers observe a pulse of light traveling from the tail of the aircraft to its nose. Just as in the above example, they will not agree on the distance the light has traveled from its emission at the plane's tail to its reception at the nose. Since speed is distance traveled divided by the time taken, this means that if they agree on the speed at which the pulse travels—the speed of light—they will not agree on the time interval

между началом распространения луча вдоль самолета и его окончанием.



**На Борту Самолета.** Если вы бросаете мяч на самолете, то наблюдатель на борту может обнаружить, что мяч каждый раз ударяется в одно и то же место, в то время как наблюдатель на Земле будет фиксировать огромную разницу в точках соударения.

В чем странность этого явления - в том, что, хотя эти два наблюдателя измерили различные интервалы времени, они наблюдали тот же самый физический процесс. Эйнштейн не пытался искусственным образом объяснить это. Он вывел поразительное заключение, что измерение затраченного времени

between the emission and the reception.



**Airborne Jet** If you bounce a ball on a jet, an observer aboard the plane may determine that it hits the same spot each bounce, while an observer on the ground will measure a large difference in the bounce points.

What makes this strange is that, though the two observers measure different times, they are watching the *same physical process*. Einstein didn't attempt to construct an artificial explanation for this. He drew the logical, if startling, conclusion that the measurement of the time

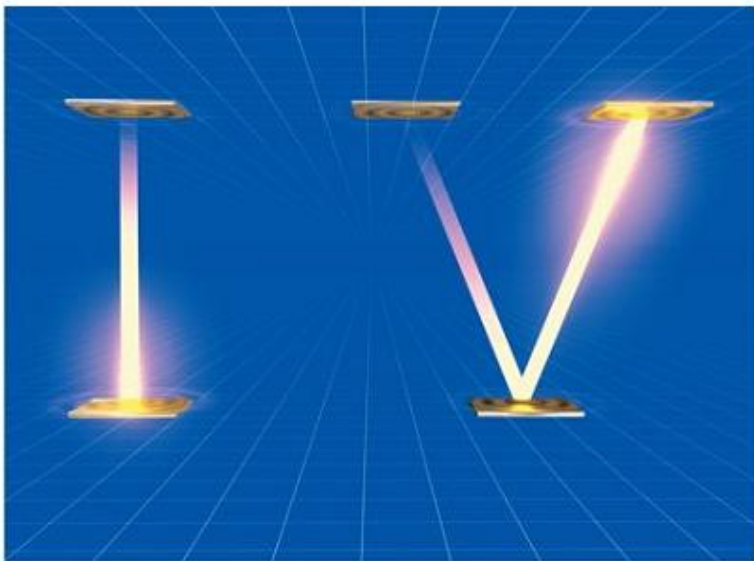
на преодоление расстояния, зависит от наблюдателя, проводящего измерение. Тот эффект является одним из ключевых в теории, описанной в статье Эйнштейна в 1905 году, которая получила название специальной теории относительности.

Мы можем видеть, как этот анализ может применяться к устройствам хронометрирования, если мы рассматриваем двух наблюдателей, наблюдающих за часами. Специальная теория относительности считает, что часы бегут быстрее согласно наблюдателю, который находится в покое относительно часов. Наблюдателям, которые не являются в покое относительно часов, кажется, что часы бегут медленнее. Если мы уподобляем световой импульс, идущий из хвоста до носа самолета, тиканью часов, мы видим, что для наблюдателя на Земле часы идут медленнее, потому что в той системе координат луч света должен переместиться на большее расстояние. Но результат не зависит от механизма часов; он справедлив для всех часов, даже наших собственных биологических.

taken, like the measurement of the distance covered, depends on the observer doing the measuring. That effect is one of the keys to the theory in Einstein's 1905 paper, which has come to be called special relativity.

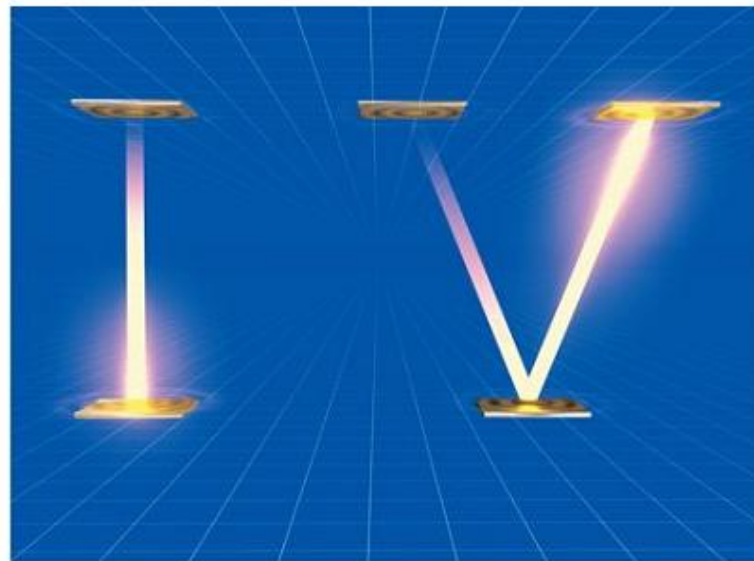
We can see how this analysis could apply to timekeeping devices if we consider two observers looking at a clock. Special relativity holds that the clock runs faster according to an observer who is at rest with respect to the clock. To observers who are not at rest with respect to the clock, the clock runs slower. If we liken a light pulse traveling from the tail to the nose of the plane to the tick of a clock, we see that to an observer on the ground the clock runs slower because the light beam has to travel a greater distance in that frame of reference. But the effect does not depend on the mechanism of the clock; it holds for all clocks, even our own biological ones.





**Растяжение Времени.** Движущиеся часы кажутся более медленными. Поскольку это также относится и к биологическим часам, движущиеся люди будут казаться стареющими медленнее, но не спешите надеяться – на повседневных скоростях никакие обычные часы не смогут измерить разницу.

Работа Эйнштейна показала, что, как и понятие покоя, время не может быть абсолютным, как полагал Ньютон. Другими словами, невозможно определить для каждого события время, с которым согласится любой наблюдатель. Вместо этого у всех наблюдателей есть свои собственные меры времени, и время, измеренное двумя наблюдателями,



**Time Dilation** Moving clocks seem to run slow. Because this also applies to biological clocks, moving people will seem to age more slowly, but don't get your hopes up—at everyday speeds, no normal clock could measure the difference.

Einstein's work showed that, like the concept of rest, time cannot be absolute, as Newton thought. In other words, it is not possible to assign to every event a time with which every observer will agree. Instead, all observers have their own measures of time, and the times measured by two observers

движущимися друг относительно друга, не будет совпадать. Идеи Эйнштейна вступают в противоречие с нашей интуицией, потому что их последствия не заметны на скоростях, с которыми мы обычно сталкиваемся в повседневной жизни. Но они неоднократно подтверждались экспериментально. Например, представьте себе эталонные часы в состоянии покоя в центре земли, другие часы на поверхность земли, а третьи на борту самолета, летящего либо по направлению, либо против направления вращения Земли. По отношению к часам в центре земли часы на борту самолета, движущегося в восточном направлении — в направлении вращения земли - перемещаются быстрее, чем часы на поверхности Земли, и поэтому они должны идти медленнее. Точно так же в отношении часов в центре земли, часы на борту самолета, летящего на запад — против вращения земли - перемещаются медленнее, чем часы на поверхности, что означает, что эти часы должны идти быстрее, чем часы на поверхности. И это в точности наблюдалось, когда в эксперименте, проделанном в октябре 1971, очень точные атомные часы облетели вокруг света. Таким образом, можно растянуть свою жизнь, постоянно летя в восточном направлении вокруг света,

who are moving relative to each other will not agree. Einstein's ideas go counter to our intuition because their implications aren't noticeable at the speeds we normally encounter in everyday life. But they have been repeatedly confirmed by experiment. For example, imagine a reference clock at rest at the center of the earth, another clock on the earth's surface, and a third clock aboard a plane, flying either with or against the direction of the earth's rotation. With reference to the clock at the earth's center, the clock aboard the plane moving eastward—in the direction of the earth's rotation—is moving faster than the clock on the earth's surface, and so it should run slower. Similarly, with reference to the clock at the earth's center, the clock aboard the plane flying westward—against the earth's rotation—is moving slower than the surface clock, which means that clock should run faster than the clock on the surface. And that is exactly what was observed when, in an experiment performed in October 1971, a very accurate atomic clock was flown around the world. So you could extend your life by constantly flying eastward around the world,

хотя Вы могли бы устать от просмотра всех тех кинофильмов авиалиний. Однако эффект очень мал, приблизительно 180 миллиардных частей секунды за оборот (и он также несколько уменьшается из-за влияния разницы в силе тяжести, но нам здесь не нужно в это вдаваться).

Благодаря работе Эйнштейна, физики поняли, что из-за требования, чтобы скорость света была одной и той же во всех системах координат, теории электричества и магнетизма Максвелла определяют, что время нельзя рассматривать отдельно от трех пространственных измерений. Наоборот, время и место взаимосвязаны. Это нечто вроде добавления четвертого направления будущее/прошлое к обычным влево/вправо, взад/вперед, и вверх/вниз. Физики называют это сочетание пространства и времени "пространство-временем", и поскольку пространство-время включает четвертое направление, они называют его четвертым измерением. В пространстве-времени время больше не отделено от трех пространственных измерений, и, грубо говоря, как определение влево/вправо, вперед/назад или вверх/вниз зависит от ориентации наблюдателя, так же направление времени меняется в зависимости от скорости наблюдателя. Наблюдатели,

though you might get tired of watching all those airline movies. However, the effect is very small, about 180 billionths of a second per circuit (and it is also somewhat lessened by the effects of the difference in gravity, but we need not get into that here).

Due to the work of Einstein, physicists realized that by demanding that the speed of light be the same in all frames of reference, Maxwell's theory of electricity and magnetism dictates that time cannot be treated as separate from the three dimensions of space. Instead, time and space are intertwined. It is something like adding a fourth direction of future/past to the usual left/right, forward/backward, and up/down. Physicists call this marriage of space and time "space-time," and because space-time includes a fourth direction, they call it the fourth dimension. In space-time, time is no longer separate from the three dimensions of space, and, loosely speaking, just as the definition of left/right, forward/backward, or up/down depends on the orientation of the observer, so too does the direction of time vary depending on the speed of the observer. Observers

движущиеся на различных скоростях, выбрали бы различные направления для времени в пространстве-времени. Специальная теория относительности Эйнштейна поэтому была новой моделью, которая избавилась от понятий абсолютного времени и абсолютного покоя (то есть, покоя относительно неподвижного эфира).

Эйнштейн скоро понял, что, чтобы согласовать гравитацию с относительностью, необходимо было дополнительное измерение. Согласно теории тяготения Ньютона, в любой момент времени объекты притягиваются друг к другу силой, зависящей от расстояния между ними в этот момент. Но теория относительности упразднила понятие абсолютного времени, поэтому не было никакого способа определить, когда должно быть измерено расстояние между массами. Таким образом, теория тяготения Ньютона не была совместима со специальной относительностью и должна была быть изменена. Противоречие могло походить на простую техническую трудность, возможно, даже детали этого так или иначе могли быть решены обходным путем без большого изменения в теории. Как оказалось, ничего подобного.

За последующие одиннадцать лет Эйнштейн разработал новую теорию тяготения, которую он назвал общей

moving at different speeds would choose different directions for time in space-time. Einstein's theory of special relativity was therefore a new model, which got rid of the concepts of absolute time and absolute rest (i.e., rest with respect to the fixed ether).

Einstein soon realized that to make gravity compatible with relativity another change was necessary. According to Newton's theory of gravity, at any given time objects are attracted to each other by a force that depends on the distance between them at that time. But the theory of relativity had abolished the concept of absolute time, so there was no way to define when the distance between the masses should be measured. Thus Newton's theory of gravity was not consistent with special relativity and had to be modified. The conflict might sound like a mere technical difficulty, perhaps even a detail that could somehow be worked around without much change in the theory. As it turned out, nothing could have been further from the truth.

Over the next eleven years Einstein developed a new theory of gravity, which he called general



относительностью. Понятие силы тяжести в общей относительности совсем не похоже на Ньютоновское. Вместо этого оно базировалось на революционном предложении, что пространство-время не плоское, как было принято ранее, а изогнуто и искривлено массой и энергией в нем.

Хороший способ изобразить искривление - представить себе поверхность Земли. Хотя поверхность Земли всего лишь двумерна (потому что на ней есть только два направления, например, север/юг и восток/запад), мы собираемся использовать ее в качестве нашего примера, потому что искривленное двумерное пространство легче себе представить, чем искривленное четырехмерное пространство. Геометрия искривленных пространств, таких как поверхность Земли, не представляет собой знакомую нам Евклидову геометрию. Например, на поверхности Земли самое короткое расстояние между двумя пунктами — которое мы знаем как прямую в Евклидовой геометрии - это путь, соединяющий два пункта вдоль так называемого большого круга. (Большой круг - это круг на поверхности Земли, центр которого совпадает с центром Земли. Экватор -- пример большого круга, и вообще, любой круг, полученный поворотом экватора вместе с различными

relativity. The concept of gravity in general relativity is nothing like Newton's. Instead, it is based on the revolutionary proposal that space-time is not flat, as had been assumed previously, but is curved and distorted by the mass and energy in it.

A good way to picture curvature is to think of the surface of the earth. Although the earth's surface is only two-dimensional (because there are only two directions along it, say north/south and east/west), we're going to use it as our example because a curved two-dimensional space is easier to picture than a curved four-dimensional space. The geometry of curved spaces such as the earth's surface is not the Euclidean geometry we are familiar with. For example, on the earth's surface, the shortest distance between two points—which we know as a line in Euclidean geometry—is the path connecting the two points along what is called a great circle. (A great circle is a circle along the earth's surface whose center coincides with the center of the earth. The equator is an example of a great circle, and so is any circle obtained by rotating the equator along different

диаметрами).

Представьте, скажем, что Вы хотели путешествовать из Нью-Йорка в Мадрид, два города, лежащие почти на одной и той же широте. Если бы Земля была плоской, то самый короткий маршрут должен был держать курс прямо на восток. Если бы Вы так сделали, то прибыли бы в Мадрид, пропутешествовав 3 707 миль. Но из-за искривления Земли есть путь, который на плоской карте выглядит кривым и, следовательно, более длинным, но который в действительности короче. Вы можете добраться туда, преодолев 3 605 миль, если проследуете по маршруту большого круга, который должен сначала взять курс на северо-восток, затем постепенно повернуть на восток, а затем на юго-восток. Различие в расстоянии между этими двумя маршрутами возникает из-за искривления Земли и свидетельства ее неевклидовой геометрии. Авиалинии знают это и принимают меры, чтобы их пилоты следовали маршрутами большого круга практически всегда.

Согласно законам механики Ньютона, объекты, такие как пушечные ядра, круассаны и планеты, перемещаются по прямым линиям, если на них не действуют силы, такие как сила тяжести. Но гравитация в теории Эйнштейна не является силой, подобно другим; скорее она представляет собой следствие того факта, что масса искажает пространство-время, создавая искривление. В теории Эйнштейна объекты движутся по

diameters.)

Imagine, say, that you wanted to travel from New York to Madrid, two cities that are at almost the same latitude. If the earth were flat, the shortest route would be to head straight east. If you did that, you would arrive in Madrid after traveling 3,707 miles. But due to the earth's curvature, there is a path that on a flat map looks curved and hence longer, but which is actually shorter. You can get there in 3,605 miles if you follow the great-circle route, which is to first head northeast, then gradually turn east, and then southeast. The difference in distance between the two routes is due to the earth's curvature, and a sign of its non-Euclidean geometry. Airlines know this, and arrange for their pilots to follow great-circle routes whenever practical.

According to Newton's laws of motion, objects such as cannonballs, croissants, and planets move in straight lines unless acted upon by a force, such as gravity. But gravity, in Einstein's theory, is not a force like other forces; rather, it is a consequence of the fact that mass distorts space-time, creating curvature. In Einstein's theory, objects move on

геодезическим линиям, что ближе всего к прямым в искривленном пространстве. Линии являются геодезическими на плоскости, а большие круги - геодезические на поверхности Земли. В отсутствие вещества, геодезические линии в четырехмерном пространстве-времени соответствуют линиям в трехмерном пространстве. Но когда вещество присутствует, искажая пространство-время, пути тел в соответствующем трехмерном пространстве искривляются в смысле, который в Ньютоновой теории объяснялся силой притяжения. Когда пространство-время искривлено, пути объектов изгибаются, будто какая-то сила воздействует на них.



**Геодезия.** Кратчайшее расстояние между двумя точками на земной поверхности искривляется, будучи нарисованным на плоской карте – что-то всплывает в памяти, если Вы проходили тест на трезвость.

geodesics, which are the nearest things to straight lines in a curved space. Lines are geodesics on the flat plane, and great circles are geodesics on the surface of the earth. In the absence of matter, the geodesics in four-dimensional space-time correspond to lines in three-dimensional space. But when matter is present, distorting space-time, the paths of bodies in the corresponding three-dimensional space curve in a manner that in Newtonian theory was explained by the attraction of gravity. When space-time is not flat, objects' paths appear to be bent, giving the impression that a force is acting on them.



**Geodesics** The shortest distance between two points on the earth's surface appears curved when drawn on a flat map—something to keep in mind if ever given a sobriety test.



Из общей теории относительности Эйнштейна выделяют специальную теорию относительности, для случаев с нулевой гравитацией, которая выдаёт почти такие же предсказания, как и теория тяготения Ньютона для среды в нашей Солнечной системе со слабым тяготением — но не совсем. Фактически, если бы общая относительность не принималась во внимание спутниковой навигационной системой GPS, ошибок глобального позиционирования накапливалось бы около десяти километров каждый день! Так или иначе, подлинное значение общей относительности не в применении её в устройствах, которые укажут вам путь до нового ресторана, но скорее в том, что это совершенно новая модель Вселенной, предсказывающая новые явления, такие как гравитационные волны и чёрные дыры. И таким образом общая относительность превратила физику в геометрию. Современные технологии достаточно чувствительны, чтобы позволить нам выполнять множество чувствительных проверок общей относительности, и она выдерживает их все без исключения.

Хотя обе радикально изменили физику, теория электромагнетизма Максвелла и теория гравитации - общей относительности Эйнштейна — обе, подобно собственной физике Ньютона, являются классическими теориями. Значит они - модели, в которых

Einstein's general theory of relativity reproduces special relativity when gravity is absent, and it makes almost the same predictions as Newton's theory of gravity in the weak-gravity environment of our solar system—but not quite. In fact, if general relativity were not taken into account in GPS satellite navigation systems, errors in global positions would accumulate at a rate of about ten kilometers each day! However, the real importance of general relativity is not its application in devices that guide you to new restaurants, but rather that it is a very different model of the universe, which predicts new effects such as gravitational waves and black holes. And so general relativity has transformed physics into geometry. Modern technology is sensitive enough to allow us to perform many sensitive tests of general relativity, and it has passed every one.

Though they both revolutionized physics, Maxwell's theory of electromagnetism and Einstein's theory of gravity—general relativity—are both, like Newton's own physics, classical theories. That is, they are models in which the



Вселенная имеет единственную историю. Как мы видели в последней главе, на атомных и субатомных уровнях эти модели не согласуются с наблюдениями. Вместо этого мы должны использовать квантовые теории, в которых у Вселенной может быть любая возможная история, каждая со своей собственной амплитудой интенсивности или вероятности. Для практических вычислений, касающихся будничного мира, мы можем продолжать использовать классические теории, но если мы хотим понять поведение атомов и молекул, мы нуждаемся в квантовой версии теории электромагнетизма Максвелла; и если мы хотим понять раннюю Вселенную, когда вся материя и энергия во Вселенной были сжаты в маленький объем, у нас должна быть квантовая версия общей теории относительности. Мы нуждаемся в таких теориях также потому, что, если мы стремимся к пониманию принципов природы, было бы нелогично, если бы некоторые из законов были квантовыми, в то время как другие - классическими. Поэтому мы должны найти квантовые версии всех законов природы. Такие теории называют теориями квантового поля.

Известные силы природы могут быть разделены на четыре класса:

universe has a single history. As we saw in the last chapter, at the atomic and subatomic levels these models do not agree with observations. Instead, we have to use quantum theories in which the universe can have any possible history, each with its own intensity or probability amplitude. For practical calculations involving the everyday world, we can continue to use classical theories, but if we wish to understand the behavior of atoms and molecules, we need a quantum version of Maxwell's theory of electromagnetism; and if we want to understand the early universe, when all the matter and energy in the universe were squeezed into a small volume, we must have a quantum version of the theory of general relativity. We also need such theories because if we are seeking a fundamental understanding of nature, it would not be consistent if some of the laws were quantum while others were classical. We therefore have to find quantum versions of all the laws of nature. Such theories are called quantum field theories.

The known forces of nature can be divided into four classes:

1. Гравитация. Это самая слабая из четырех сил, но она - сила дальнего действия и воздействует на все во Вселенной в виде притяжения. Это означает, что для больших тел все гравитационные силы складываются и могут доминировать над всеми другими силами.

2. Электромагнетизм. Это также сила дальнего действия и намного более сильная, чем гравитация, но она действует только на электрически заряженные частицы, отталкивая заряды одинаковых знаков и притягивая заряды противоположных знаков. Это означает, что электрические силы в больших телах уравнивают друг друга, но в масштабах атомов и молекул они преобладают. Электромагнитные силы ответственны за всю химию и биологию.

3. Слабое ядерное взаимодействие. Это сила является причиной радиоактивности и играет жизненно важную роль в формировании элементов в звездах и ранней Вселенной. Мы, однако, не сталкиваемся с этой силой в нашей повседневной жизни.

4. Сильное ядерное взаимодействие. Эта сила удерживает вместе

1. *Gravity*. This is the weakest of the four, but it is a long-range force and acts on everything in the universe as an attraction. This means that for large bodies the gravitational forces all add up and can dominate over all other forces.

2. *Electromagnetism*. This is also long-range and is much stronger than gravity, but it acts only on particles with an electric charge, being repulsive between charges of the same sign and attractive between charges of the opposite sign. This means the electric forces between large bodies cancel each other out, but on the scales of atoms and molecules they dominate. Electromagnetic forces are responsible for all of chemistry and biology.

3. *Weak nuclear force*. This causes radioactivity and plays a vital role in the formation of the elements in stars and the early universe. We don't, however, come into contact with this force in our everyday lives.

4. *Strong nuclear force*. This force holds together

протоны и нейтроны в ядре атома. Она также удерживает от распада сами протоны и нейтроны, что необходимо, потому что они сделаны из еще более крошечных частиц, кварков, которые мы упоминали в [Главе 3](#). Сильное взаимодействие - источник солнечной и ядерной энергии, но, как и со слабым взаимодействием, мы с ним напрямую не контактируем.

Первая сила, для которой была создана квантовая версия, была электромагнетизмом. Квантовая теория электромагнитного поля, названная квантовым электромагнетизмом или для краткости QED, была разработана в 1940-ых Ричардом Фейнманом и другими, и стала моделью для всех квантовых теорий поля. Как мы сказали, согласно классическим теориям, силы переносятся полями. Но в квантовых теориях поля силовые поля описываются как составленные из различных элементарных частиц, названных бозонами, частицами, переносящими силу, которые летают туда-сюда между частицами материи, передавая силы. Частицы материи называют фермионами. Электроны и кварки - примеры фермионов. Фотон, или частица

the protons and neutrons inside the nucleus of an atom. It also holds together the protons and neutrons themselves, which is necessary because they are made of still tinier particles, the quarks we mentioned in [Chapter 3](#). The strong force is the energy source for the sun and nuclear power, but, as with the weak force, we don't have direct contact with it.

The first force for which a quantum version was created was electromagnetism. The quantum theory of the electromagnetic field, called quantum electrodynamics, or QED for short, was developed in the 1940s by Richard Feynman and others, and has become a model for all quantum field theories. As we've said, according to classical theories, forces are transmitted by fields. But in quantum field theories the force fields are pictured as being made of various elementary particles called bosons, which are force-carrying particles that fly back and forth between matter particles, transmitting the forces. The matter particles are called fermions. Electrons and quarks are examples of fermions. The photon, or particle of

света - пример бозона. Это бозон, передающий электромагнитную силу. Происходит так, что частица материи, такая как электрон, испускает бозон, или частицу силы, и отскакивает от нее, почти так же, как орудие откатывается после выстрела пушечным ядром. Частица силы затем сталкивается с другой частицей материи и поглощается, меняя движение этой частицы. Согласно QED, все взаимодействия между заряженными частицами - частицами, чувствительными к электромагнитной силе - описываются в терминах обмена фотонами.

Предсказания QED были проверены и объявленными соответствующими экспериментальным результатам с большой точностью. Но выполнение математических расчетов, требуемых QED, может быть затруднительным. Проблема, как будет видно ниже, в том, что когда Вы добавляете к вышеупомянутому механизму обмена частицами квантовое условие, чтобы каждая включала все истории, в результате которых может произойти взаимодействие — например, все способы, которыми частицы могут обмениваться силами — математика становится сложной. К счастью, наряду с изобретением понятия альтернативных историй — способа

light, is an example of a boson. It is the boson that transmits the electromagnetic force. What happens is that a matter particle, such as an electron, emits a boson, or force particle, and recoils from it, much as a cannon recoils after firing a cannonball. The force particle then collides with another matter particle and is absorbed, changing the motion of that particle. According to QED, all the interactions between charged particles—particles that feel the electromagnetic force—are described in terms of the exchange of photons.

The predictions of QED have been tested and found to match experimental results with great precision. But performing the mathematical calculations required by QED can be difficult. The problem, as we'll see below, is that when you add to the above framework of particle exchange the quantum requirement that one include all the histories by which an interaction can occur—for example, all the ways the force particles can be exchanged—the mathematics becomes complicated. Fortunately, along with inventing the notion of alternative histories—the way of



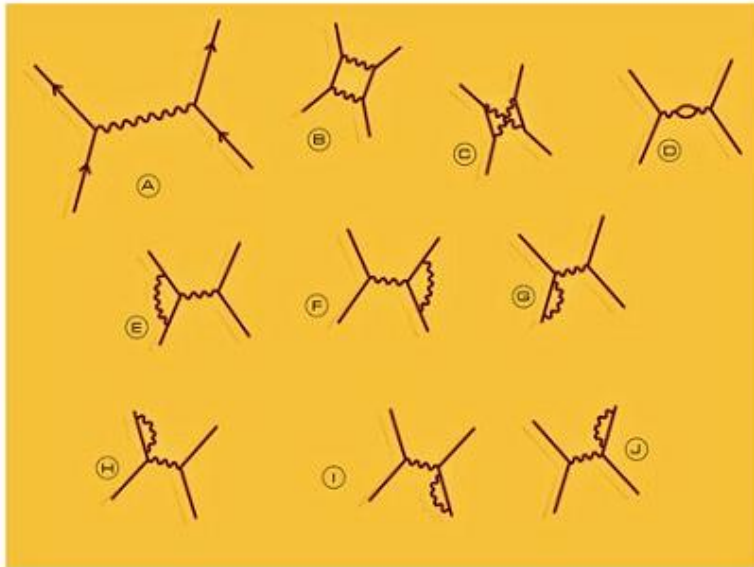
представить себе квантовые теории, описанные в последней главе - Фейнман также разработал искусный графический метод составления различных историй, метод, который сегодня применяется не только к QED, но и ко всем квантовым теориям поля.

Графический метод Фейнмана обеспечивает способ наглядно представить каждый компонент в сумме по историям. Эти рисунки, названные диаграммами Фейнмана, являются одними из самых важных инструментов современной физики. В QED сумма по всем возможным историям может быть представлена в виде суммы по диаграммам Фейнмана, как те, что ниже, представляющим некоторые из способов, которыми два электрона могут разлететься друг от друга в результате действия электромагнитной силы. В этих диаграммах сплошные линии представляют электроны, а волнистые - фотоны. Время подразумевается текущим снизу вверх и проставлено на соединениях линий, соответствующих фотонам, испускаемым или поглощаемым электроном. Диаграмма (А) представляет два электрона, приближающиеся друг к другу, обменивающиеся фотоном, и затем продолжающие свой путь. Это самый простой способ, которым два электрона могут электромагнитно взаимодействовать, но мы должны рассмотреть все возможные истории. Следовательно, мы

thinking about quantum theories described in the last chapter—Feynman also developed a neat graphical method of accounting for the different histories, a method that is today applied not just to QED but to all quantum field theories.

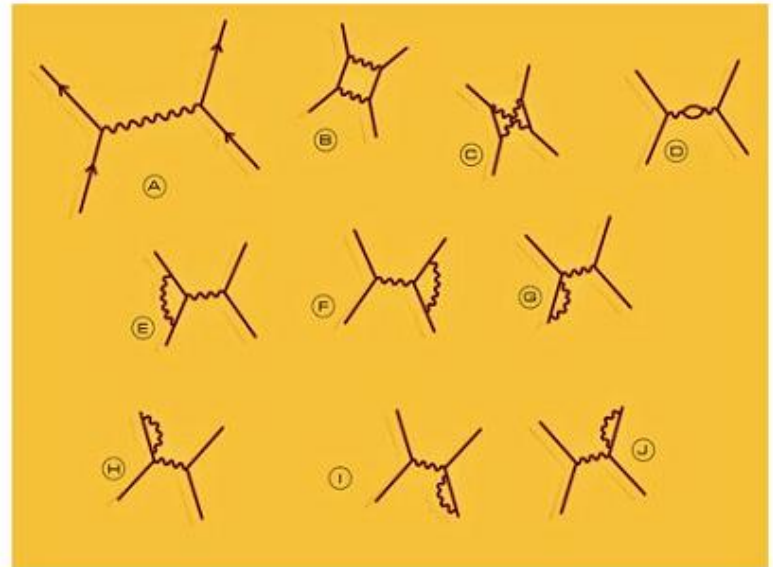
Feynman's graphical method provides a way of visualizing each term in the sum over histories. Those pictures, called Feynman diagrams, are one of the most important tools of modern physics. In QED the sum over all possible histories can be represented as a sum over Feynman diagrams like those below, which represent some of the ways it is possible for two electrons to scatter off each other through the electromagnetic force. In these diagrams the solid lines represent the electrons and the wavy lines represent photons. Time is understood as progressing from bottom to top, and places where lines join correspond to photons being emitted or absorbed by an electron. Diagram (A) represents the two electrons approaching each other, exchanging a photon, and then continuing on their way. That is the simplest way in which two electrons can interact electromagnetically, but we must consider all possible histories. Hence we

должны также учитывать диаграммы, подобные (B). Эта диаграмма также изображает две входящие линии — сближающиеся электроны — и две исходящие линии — разлетающиеся электроны — но в этой диаграмме электроны обмениваются двумя фотонами, прежде чем разлетаться. Изображенные диаграммы — лишь некоторые из вариантов; фактически существует бесконечное число диаграмм, которые должны быть вычислены математически.



**Диаграммы Фейнмана.** Эти диаграммы относятся к процессу, в котором два электрона рассеиваются друг от друга.

must also include diagrams like (B). That diagram also pictures two lines coming in—the approaching electrons—and two lines going out—the scattered ones—but in this diagram the electrons exchange two photons before flying off. The diagrams pictured are only a few of the possibilities; in fact, there are an infinite number of diagrams, which must be mathematically accounted for.



**Feynman Diagrams** These diagrams pertain to a process in which two electrons scatter off each other.

Диаграммы Фейнмана не только аккуратный способ изобразить и классифицировать, как могут происходить взаимодействия. Диаграммам Фейнмана сопутствуют правила, которые позволяют выводить, исходя из линий и вершин на каждой диаграмме, математические выражения. Вероятность, скажем, что входящие электроны с некоторым заданным начальным импульсом окажутся разлетевшимися с некоторым определенным конечным импульсом, при этом получена суммированием вкладов от каждой диаграммы Фейнмана. Это может потребовать немалого труда, поскольку, как мы сказали, их существует бесконечное число. Кроме того, хотя входящим и исходящим электронам присваивают определенную энергию и импульс, частицы в замкнутых контурах внутри диаграммы могут иметь любую энергию и импульс. Это важно, потому что при составлении суммы Фейнмана нужно суммировать не только по всем диаграммам, но также и по всем значениям энергии и импульса.

Диаграммы Фейнмана предоставляют физикам огромную помощь в визуализации и вычислении вероятностей процессов, описанных QED. Но они не излечивают одну важную болезнь,

Feynman diagrams aren't just a neat way of picturing and categorizing how interactions can occur. Feynman diagrams come with rules that allow you to read off, from the lines and vertices in each diagram, a mathematical expression. The probability, say, that the incoming electrons, with some given initial momentum, will end up flying off with some particular final momentum is then obtained by summing the contributions from each Feynman diagram. That can take some work, because, as we've said, there are an infinite number of them. Moreover, although the incoming and outgoing electrons are assigned a definite energy and momentum, the particles in the closed loops in the interior of the diagram can have any energy and momentum. That is important because in forming the Feynman sum one must sum not only over all diagrams but also over all those values of energy and momentum.

Feynman diagrams provided physicists with enormous help in visualizing and calculating the probabilities of the processes described by QED. But they did not cure one important ailment

перенесенную теорией. Когда Вы складываете вклады от бесконечного числа различных историй, Вы получаете бесконечный результат. (Если последующие члены в бесконечной сумме уменьшаются достаточно быстро, сумма может быть конечной, но этого, к сожалению, здесь не происходит). В частности, когда диаграммы Фейнмана сложены, ответ, кажется, предполагает, что у электрона бесконечная масса и заряд. Это абсурд, потому что мы можем измерить массу и заряд, и они конечны. Чтобы справиться с этими бесконечностями была разработана процедура, названная перенормировкой.

Процесс перенормировки подразумевает вычитание количества, оцениваемого как бесконечное и отрицательное, таким способом, что при тщательном математическом расчете сумма отрицательных и положительных бесконечных величин, возникающих в теории, сводится почти на нет, оставляя маленький остаток, конечное наблюдаемое значение массы и заряда. Эти манипуляции могли бы походить на такого рода вещи, из-за которых Вы бы провалились на школьном математическом экзамене, и действительно, перенормировка, как и ее звучание, сомнительна в математическом плане. Один из результатов

suffered by the theory: When you add the contributions from the infinite number of different histories, you get an infinite result. (If the successive terms in an infinite sum decrease fast enough, it is possible for the sum to be finite, but that, unfortunately, doesn't happen here.) In particular, when the Feynman diagrams are added up, the answer seems to imply that the electron has an infinite mass and charge. This is absurd, because we can measure the mass and charge and they are finite. To deal with these infinities, a procedure called renormalization was developed.

The process of renormalization involves subtracting quantities that are defined to be infinite and negative in such a way that, with careful mathematical accounting, the sum of the negative infinite values and the positive infinite values that arise in the theory almost cancel out, leaving a small remainder, the finite observed values of mass and charge. These manipulations might sound like the sort of things that get you a flunking grade on a school math exam, and renormalization is indeed, as it sounds, mathematically dubious. One consequence is that



- что значения, полученные этим методом для массы и заряда электрона, могут быть любым конечным числом. Преимущество этого в том, что физики могут выбрать отрицательные бесконечности таким образом, чтобы получить правильный ответ, но неудобство - что масса и заряд электрона, поэтому не могут быть предсказаны на основании этой теории. Но как только мы установили массу и заряд электрона этим методом, мы можем использовать QED, чтобы сделать множество других очень точных предсказаний, которые весьма точно согласуются с наблюдением, таким образом, перенормировка - один из существенных компонентов QED. Первым триумфом QED, например, было правильное предсказание так называемого Лэмбовского сдвига, небольшого изменения энергии одного из состояний атома водорода, обнаруженного в 1947 году.

the values obtained by this method for the mass and charge of the electron can be any finite number. That has the advantage that physicists may choose the negative infinities in a way that gives the right answer, but the disadvantage that the mass and charge of the electron therefore cannot be predicted from the theory. But once we have fixed the mass and charge of the electron in this manner, we can employ QED to make many other very precise predictions, which all agree extremely closely with observation, so renormalization is one of the essential ingredients of QED. An early triumph of QED, for example, was the correct prediction of the so-called Lamb shift, a small change in the energy of one of the states of the hydrogen atom discovered in 1947.



**Диаграммы Фейнмана.** Ричард Фейнман водил знаменитый фургончик, разрисованный диаграммами. Эта артистичная демонстрация сделала диаграммы широко обсуждаемыми. Хотя Фейнман умер в 1988, фургончик всё еще хранится около Калтека в Южной Калифорнии.

Успех перенормировки в QED поощряет попытки создать квантовые теории поля, описывающие другие три силы природы. Но деление сил природы на четыре класса, вероятно, искусственно и является следствием нашего недостаточного понимания. Поэтому люди пытаются



**Feynman Diagrams** Richard Feynman drove a famous van with Feynman diagrams painted on it. This artist's depiction was made to show the diagrams discussed above. Though Feynman died in 1988, the van is still around—in storage near Caltech in Southern California.

The success of renormalization in QED encouraged attempts to look for quantum field theories describing the other three forces of nature. But the division of natural forces into four classes is probably artificial and a consequence of our lack of understanding. People have therefore

разработать теорию всего, что объединит эти четыре класса в один закон, совместимый с квантовой теорией. Это было бы священным Граалем физики.

Один знак того, что объединение - правильный подход, получен из теории слабой силы. Квантовая теория поля, описывающая слабую силу саму по себе, не может быть перенормирована; то есть в ней есть бесконечности, которые не сокращаются вычитанием конечного ряда величин, таких как масса и заряд. Однако в 1967 году Абдус Салам и Стивен Вейнберг, независимо друг от друга, предложили теорию, в которой электромагнетизм был объединен со слабой силой, и обнаружили, что объединение устраняло проклятие бесконечностей. Объединенную силу называют электрослабым взаимодействием. Эта теория могла быть перенормирована, и предсказала три новых частицы, названные  $W^+$ ,  $W^-$  и  $Z^0$ . Доказательство в пользу  $Z^0$  было обнаружено в CERN в Женеве в 1973 году. Салам и Вейнберг были награждены Нобелевской премией в 1979 году, хотя  $W$  и  $Z$  частицы непосредственно не наблюдались до 1983 года.

Сильное взаимодействие может быть перенормировано само

sought a theory of everything that will unify the four classes into a single law that is compatible with quantum theory. This would be the holy grail of physics.

One indication that unification is the right approach came from the theory of the weak force. The quantum field theory describing the weak force on its own cannot be renormalized; that is, it has infinities that cannot be canceled by subtracting a finite number of quantities such as mass and charge. However, in 1967 Abdus Salam and Steven Weinberg each independently proposed a theory in which electromagnetism was unified with the weak force, and found that the unification cured the plague of infinities. The unified force is called the electroweak force. Its theory could be renormalized, and it predicted three new particles called  $W^+$ ,  $W^-$ , and  $Z^0$ . Evidence for the  $Z^0$  was discovered at CERN in Geneva in 1973. Salam and Weinberg were awarded the Nobel Prize in 1979, although the  $W$  and  $Z$  particles were not observed directly until 1983.

The strong force can be renormalized on its

по себе в теории, названной QCD или квантовая хромодинамика. Согласно QCD, протон, нейтрон, и многие другие элементарные частицы материи образованы из кварков, у которых есть замечательное свойство, которое физики называют цветом (отсюда и термин "хромодинамика", хотя цвета кварка - лишь полезные обозначения - нет никакой связи с видимым цветом). Кварки получают трех так называемых цветов, красные, зеленые и синие. Кроме того, у каждого кварка есть партнер-античастица, и цвета этих частиц называют антикрасным, антизеленым и антисиним. Идея в том, что только комбинации, а не чистые цвета, могут существовать в виде свободных частиц. Существует два способа достигнуть таких комбинаций кварков смешанного цвета. Цвет и его антицвет сокращают, таким образом, кварк и антикварк формируют бесцветную пару, нестабильную частицу, названную мезоном. Кроме того, когда все три цвета (или антицвета) смешиваются, в результате не получается чистого цвета. Три кварка, по одному каждого цвета, образуют стабильные частицы, названные барионами, примеры которых - протоны и нейтроны (а три антикварка образуют античастицы барионов). Протоны и нейтроны являются барионами,

own in a theory called QCD, or quantum chromodynamics. According to QCD, the proton, the neutron, and many other elementary particles of matter are made of quarks, which have a remarkable property that physicists have come to call color (hence the term "chromodynamics," although quark colors are just helpful labels—there is no connection with visible color). Quarks come in three so-called colors, red, green, and blue. In addition, each quark has an anti-particle partner, and the colors of those particles are called anti-red, anti-green, and anti-blue. The idea is that only combinations with no net color can exist as free particles. There are two ways to achieve such neutral quark combinations. A color and its anti-color cancel, so a quark and an anti-quark form a colorless pair, an unstable particle called a meson. Also, when all the three colors (or anti-colors) are mixed, the result has no net color. Three quarks, one of each color, form stable particles called baryons, of which protons and neutrons are examples (and three anti-quarks form the anti-particles of the baryons). Protons and neutrons are the baryons



которые составляют ядра атомов и служат основой всей нормальной материи во Вселенной.

У QCD также есть свойство, названное асимптотической свободой, которое мы упомянули, не называя, в [Главе 3](#). Асимптотическая свобода означает, что сильные взаимодействия между кварками малы, когда кварки находятся близко друг от друга, но увеличиваются, если они удаляются, почти как если бы к ним присоединили резинки. Асимптотическая свобода объясняет, почему мы не видим отдельных кварков в природе и были неспособны создать их в лаборатории. Однако даже при том, что мы не можем наблюдать отдельных кварков, мы принимаем модель, потому что она очень хорошо работает при объяснении поведения протонов, нейтронов и других частиц материи.

После объединения слабых и электромагнитных взаимодействий в 1970-ых физики искали способ ввести сильное взаимодействие в эту теорию. Существует множество так называемых великих объединенных теорий или GUTов, которые объединяют сильные взаимодействия со слабыми и с электромагнетизмом, но они главным образом предсказывают, что протоны, вещество, из которого мы сделаны, должны распадаться в среднем приблизительно через  $10^{32}$  лет. Это очень продолжительное время жизни, учитывая, что Вселенной

that make up the nucleus of atoms and are the basis for all normal matter in the universe.

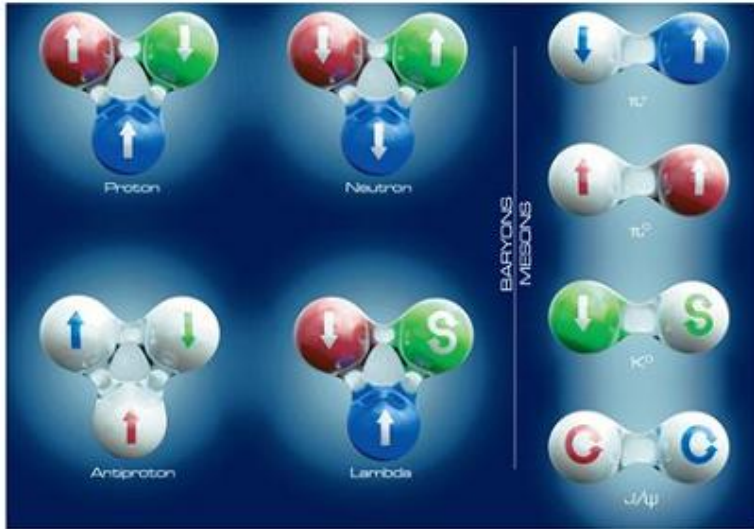
QCD also has a property called asymptotic freedom, which we referred to, without naming it, in [Chapter 3](#). Asymptotic freedom means that the strong forces between quarks are small when the quarks are close together but increase if they are farther apart, rather as though they were joined by rubber bands. Asymptotic freedom explains why we don't see isolated quarks in nature and have been unable to produce them in the laboratory. Still, even though we cannot observe individual quarks, we accept the model because it works so well at explaining the behavior of protons, neutrons, and other particles of matter.

After uniting the weak and electromagnetic forces, physicists in the 1970s looked for a way to bring the strong force into that theory. There are a number of so-called grand unified theories or GUTs that unify the strong forces with the weak force and electromagnetism, but they mostly predict that protons, the stuff that we are made of, should decay, on average, after about  $10^{32}$  years. That is a very long lifetime, given that the universe

лишь около  $10^{10}$  лет. Но в квантовой физике, когда мы говорим что среднее время жизни частицы  $10^{32}$  лет, мы не подразумеваем, что большинство частиц живут приблизительно  $10^{32}$  лет, некоторые немного больше, а некоторые немного меньше. Вместо этого мы подразумеваем, что каждый год у частицы есть 1 из  $10^{32}$  шансов распасться. В результате, если Вы следите за резервуаром, содержащим  $10^{32}$  протонов, в течение всего лишь нескольких лет, Вы должны наблюдать несколько протонных распадов. Не слишком трудно построить такой резервуар, поскольку  $10^{32}$  протонов содержится всего лишь в тысяче тонн воды. Ученые провели такие эксперименты. Оказывается, обнаружение распадов и дифференциация их от других событий, вызванных космическими лучами, которые непрерывно льются на нас из космоса, является не столь простым делом. Чтобы минимизировать шум, эксперименты проводились в местах глубоко под Землей, таких как шахта компаний Kamioka Mining и Smelting в Японии глубиной 3 281 фута, в некоторой степени защищенная от космических лучей. В результате наблюдений в 2009 году исследователи заключили, что если протонный распад вообще существует, время жизни протона больше, чем

is only about  $10^{10}$  years old. But in quantum physics, when we say the average lifetime of a particle is  $10^{32}$  years, we don't mean that most particles live approximately  $10^{32}$  years, some a bit more and some a bit less. Instead, what we mean is that, each year, the particle has a 1 in  $10^{32}$  chance of decaying. As a result, if you watch a tank containing  $10^{32}$  protons for just a few years, you ought to see some of the protons decay. It is not too hard to build such a tank, since  $10^{32}$  protons are contained in just a thousand tons of water. Scientists have performed such experiments. It turns out that detecting the decays and differentiating them from other events caused by the cosmic rays that continually shower us from space is no easy matter. To minimize the noise, the experiments are carried out deep inside places such as the Kamioka Mining and Smelting Company's mine 3,281 feet under a mountain in Japan, which is somewhat shielded from cosmic rays. As a result of observations in 2009, researchers have concluded that if protons decay at all, the proton lifetime is greater than about

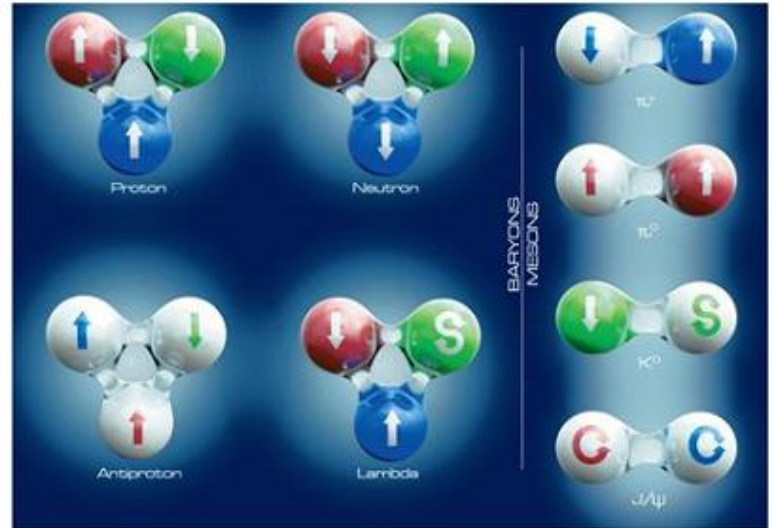
$10^{34}$  лет, что является плохой новостью для великих объединительных теорий.



**Барионы и Мезоны.** Барионы и мезоны, как говорят, сделаны из кварков, связанных сильным взаимодействием. Когда такие частицы сталкиваются, они могут обмениваться кварками, но отдельный кварк не может быть наблюдаем.

Так как ранее наблюдаемое свидетельство также было не способно поддержать GUTы, большинство физиков приняло специальную теорию, названную стандартной моделью, которая включает объединительную теорию электрослабых взаимодействий и QCD как теорию сильных взаимодействий.

$10^{34}$  years, which is bad news for grand unified theories.



**Baryons and Mesons** Baryons and mesons are said to be made of quarks bound together by the strong force. When such particles collide, they can exchange quarks, but individual quarks cannot be observed.

Since earlier observational evidence had also failed to support GUTs, most physicists adopted an ad hoc theory called the standard model, which comprises the unified theory of the electroweak forces and QCD as a theory of the strong forces.



Но в стандартной модели электрослабые и сильные взаимодействия действуют отдельно и на самом деле не объединены. Стандартная модель очень эффективна и согласуется со всеми наблюдаемыми на сегодняшний день свидетельствами, но она, в конечном счете, неудовлетворительна, потому что кроме того, что она не объединяет электрослабые и сильные взаимодействия, она не включает гравитацию.

Может оказаться трудным объединить сильные взаимодействия с электромагнитными и слабыми взаимодействиями, но эти проблемы - ничто по сравнению с проблемой слияния гравитации с тремя другими или даже создания отдельной квантовой теории гравитации. Причина, по которой оказалось настолько трудным создать квантовую теорию гравитации, имеет отношение к принципу неопределенности Гейзенберга, который мы обсуждали в [Главе 4](#). Это не очевидно, но оказывается, что с учетом этого принципа величина поля и скорость его изменения играют такую же роль, как положение и скорость частицы. Таким образом, чем точнее определено одно, тем менее точно может быть определено другое. Важное следствие этого в том, что нет такой вещи как пустота. Это потому что пустота означает, что и величина поля и скорость его

But in the standard model, the electroweak and strong forces act separately and are not truly unified. The standard model is very successful and agrees with all current observational evidence, but it is ultimately unsatisfactory because, apart from not unifying the electroweak and strong forces, it does not include gravity.

It may have proved difficult to meld the strong force with the electromagnetic and weak forces, but those problems are nothing compared with the problem of merging gravity with the other three, or even of creating a stand-alone quantum theory of gravity. The reason a quantum theory of gravity has proven so hard to create has to do with the Heisenberg uncertainty principle, which we discussed in [Chapter 4](#). It is not obvious, but it turns out that with regard to that principle, the value of a field and its rate of change play the same role as the position and velocity of a particle. That is, the more accurately one is determined, the less accurately the other can be. An important consequence of that is that there is no such thing as empty space. That is because empty space means that both the value of a field and its rate of



изменения строго нулевые. (Если бы скорость изменения поля была не нулевой, то место не оставалось бы пустым). Так как принцип неопределенности не позволяет величине поля и скорости изменения быть точными, космос вовсе не пуст. У него может быть состояние минимума энергии, названное вакуумом, но это состояние подвержено так называемому квантовому дрожанию или флуктуациям вакуума - частицы и поля дрожат туда-сюда относительно существования.



*"Помещая коробку вокруг всего этого, боюсь, мы не создаем Теорию Всего"*

change are exactly zero. (If the field's rate of change were not zero, the space would not remain empty.) Since the uncertainty principle does not allow the values of both the field and the rate of change to be exact, space is never empty. It can have a state of minimum energy, called the vacuum, but that state is subject to what are called quantum jitters, or vacuum fluctuations—particles and fields quivering in and out of existence.



*"Putting a box around it, I'm afraid, does not make it a unified theory."*

Можно представить флуктуации вакуума как пару частиц, которые одновременно появляются в какой-то момент, расходятся, а затем объединяются и аннигилируют друг друга. Выраженные диаграммами Фейнмана, они представляют собой замкнутые контуры. Эти частицы называют виртуальными частицами. В отличие от реальных, виртуальные частицы не могут наблюдаться непосредственно детектором частиц. Однако их косвенные эффекты, такие как небольшие изменения энергии электронных орбит, могут быть измерены и согласуются с теоретическими предсказаниями до замечательной степени точности. Проблема состоит в том, что виртуальные частицы имеют энергию, и поскольку существует бесконечное число виртуальных пар, у них было бы бесконечное количество энергии. Согласно общей относительности, это означает, что они искривили бы Вселенную к бесконечно малый размер, чего очевидно не происходит!

Это проклятие бесконечности похоже на проблему, которая возникает в теориях сильных, слабых, и электромагнитных взаимодействий, кроме тех случаев, когда перенормировка устраняет бесконечности. Но замкнутые контуры в диаграммах Фейнмана для

One can think of the vacuum fluctuations as pairs of particles that appear together at some time, move apart, then come together and annihilate each other. In terms of Feynman diagrams, they correspond to closed loops. These particles are called virtual particles. Unlike real particles, virtual particles cannot be observed directly with a particle detector. However, their indirect effects, such as small changes in the energy of electron orbits, can be measured, and agree with theoretical predictions to a remarkable degree of accuracy. The problem is that the virtual particles have energy, and because there are an infinite number of virtual pairs, they would have an infinite amount of energy. According to general relativity, this means that they would curve the universe to an infinitely small size, which obviously does not happen!

This plague of infinities is similar to the problem that occurs in the theories of the strong, weak, and electromagnetic forces, except in those cases renormalization removes the infinities. But the closed loops in the Feynman diagrams for

гравитации создают бесконечности, которые не могут быть сокращены перенормировкой, потому что в общей относительности недостаточно перенормируемых параметров (таких как величина массы и заряда), чтобы устранить все квантовые бесконечности из теории. Мы поэтому остаемся с теорией гравитации, предсказывающей, что определенные величины, такие как искривление пространства-времени, бесконечны, что не служит хорошим путем, ведущим к пригодной для жизни Вселенной. Это означает, что единственная возможность получения разумной теории было бы как-нибудь сократить все бесконечности, не прибегая к перенормировке.

В 1976 году возможное решение этой проблемы было найдено. Его называют супергравитацией. Приставка "супер" добавлялась не потому, что физики думали, что было "супер", что эта теория квантовой гравитации могла на самом деле работать. Вместо этого "супер" имеет в виду своего рода симметрию, которой обладает теория, названную суперсимметрией.

В физике система, как говорят, обладает симметрией, если ее свойства не зависят от определенных преобразований, таких как вращение ее в пространстве или получение ее зеркального отображения. Например, если Вы переворачиваете пончик, он выглядит в точности одинаково (если он без

gravity produce infinities that cannot be absorbed by renormalization because in general relativity there are not enough renormalizable parameters (such as the values of mass and charge) to remove all the quantum infinities from the theory. We are therefore left with a theory of gravity that predicts that certain quantities, such as the curvature of space-time, are infinite, which is no way to run a habitable universe. That means the only possibility of obtaining a sensible theory would be for all the infinities to somehow cancel, without resorting to renormalization.

In 1976 a possible solution to that problem was found. It is called supergravity. The prefix "super" was not appended because physicists thought it was "super" that this theory of quantum gravity might actually work. Instead, "super" refers to a kind of symmetry the theory possesses, called supersymmetry.

In physics a system is said to have a symmetry if its properties are unaffected by a certain transformation such as rotating it in space or taking its mirror image. For example, if you flip a donut over, it looks exactly the same (unless it has

шоколадной посыпки, в этом случае лучше его просто съесть). Суперсимметрия - более тонкий вид симметрии, которая не может быть связана с преобразованием обычного пространства. Одно из важных значений суперсимметрии - что частицы силы и частицы материи, а следовательно сила и материя, действительно лишь два аспекта одного и того же явления. В сущности, это означает, что у каждой частицы материи, такой как кварк, должна быть частица-партнер, являющаяся частицей силы, и у каждой частицы силы, такой как фотон, должна быть частица-партнер, являющаяся частицей материи. У этой теории есть потенциал, чтобы решить проблему бесконечностей, потому что оказывается, что бесконечности от замкнутых контуров частиц силы положительны, в то время как бесконечности от замкнутых контуров частиц материи отрицательны, таким образом, бесконечности в этой теории, обусловленные частицами силы и их партнерами, частицами материи, имеют свойство сокращаться. К сожалению, вычисления, необходимые чтобы узнать, были ли бы какие-нибудь бесконечности, оставшиеся несокращенными в супергравитации, были такими длинными и сложными, и имели такой потенциал для ошибки, что никто не был готов за них браться. Большинство

a chocolate topping, in which case it is better just to eat it). Supersymmetry is a more subtle kind of symmetry that cannot be associated with a transformation of ordinary space. One of the important implications of supersymmetry is that force particles and matter particles, and hence force and matter, are really just two facets of the same thing. Practically speaking, that means that each matter particle, such as a quark, ought to have a partner particle that is a force particle, and each force particle, such as the photon, ought to have a partner particle that is a matter particle. This has the potential to solve the problem of infinities because it turns out that the infinities from closed loops of force particles are positive while the infinities from closed loops of matter particles are negative, so the infinities in the theory arising from the force particles and their partner matter particles tend to cancel out. Unfortunately, the calculations required to find out whether there would be any infinities left uncanceled in supergravity were so long and difficult and had such potential for error that no one was prepared to undertake them. Most



физиков, тем не менее, полагало, что супергравитация была, вероятно, правильным ответом на проблему объединения гравитации с другими силами.

Вы могли бы подумать, что справедливость суперсимметрии будет легко проверить - просто исследуйте свойства существующих частиц и увидите, разделяются ли они на пары. Никакие такие частицы-партнеры не наблюдались. Но различные вычисления, которые выполнили физики, указывают, что частицы-партнеры, соответствующие частицам, которые мы наблюдаем, должны быть в тысячу раз более массивными, чем протон, если не еще более тяжелыми. Они слишком тяжелые для таких частиц, чтобы быть замеченными в любых экспериментах, проводившихся до настоящего времени, но есть надежда, что такие частицы будут, в конечном счете, созданы в Большом Адронном Коллайдере в Женеве.

Идея суперсимметрии была ключом к созданию супергравитации, но понятие фактически возникло несколькими годами ранее у теоретиков, изучающих неоперившуюся теорию, названную теорией струн. Согласно теории струн, частицы - это не точки, а паттерны колебаний, у которых есть длина, но нет высоты или ширины - подобно бесконечно тонким струнам. Теории струн также приводят к бесконечностям, но

physicists believed, nonetheless, that supergravity was probably the right answer to the problem of unifying gravity with the other forces.

You might think that the validity of supersymmetry would be an easy thing to check—just examine the properties of the existing particles and see if they pair up. No such partner particles have been observed. But various calculations that physicists have performed indicate that the partner particles corresponding to the particles we observe ought to be a thousand times as massive as a proton, if not even heavier. That is too heavy for such particles to have been seen in any experiments to date, but there is hope that such particles will eventually be created in the Large Hadron Collider in Geneva.

The idea of supersymmetry was the key to the creation of supergravity, but the concept had actually originated years earlier with theorists studying a fledgling theory called string theory. According to string theory, particles are not points, but patterns of vibration that have length but no height or width—like infinitely thin pieces of string. String theories also lead to infinities, but it

полагают, что в правильной версии все они сократятся. У них есть другая необычная особенность. Они непротиворечивы, только если пространство-времени имеет десять измерений вместо обычных четырех. Десять измерений могли бы казаться захватывающими, но они вызвали бы реальные проблемы, если бы Вы забыли, где оставили свой автомобиль. Если они существуют, почему мы не замечаем эти лишние измерения? Согласно теории струн, они скручены в пространство очень небольшого размера. Чтобы изобразить это, представьте себе двумерный самолет. Мы называем самолет двумерным, потому что нужно два числа (например, горизонтальная и вертикальная координаты), чтобы определить местоположение любой точки на нем. Другое двумерное пространство - поверхность соломинки. Чтобы определить местоположение точки в этом пространстве, нужно знать, где точка вдоль соломинки, а также какова ее круговая координата. Но если бы соломинка была очень тонкой, Вы бы отлично приблизительно установили расположение, используя только координату, проходящую вдоль соломинки, поэтому Вы могли бы не учитывать круговое измерение. И если бы соломинка была "одной миллион-миллион-миллион-миллион-миллионной" дюйма в диаметре, то Вы не заметили бы кругового

is believed that in the right version they will all cancel out. They have another unusual feature: They are consistent only if space-time has ten dimensions, instead of the usual four. Ten dimensions might sound exciting, but they would cause real problems if you forgot where you parked your car. If they are present, why don't we notice these extra dimensions? According to string theory, they are curved up into a space of very small size. To picture this, imagine a two-dimensional plane. We call the plane two-dimensional because you need two numbers (for instance, horizontal and vertical coordinates) to locate any point on it. Another two-dimensional space is the surface of a straw. To locate a point on that space, you need to know where along the straw's length the point is, and also where along its circular dimension. But if the straw is very thin, you would get a very good approximate position employing only the coordinate that runs along the straw's length, so you might ignore the circular dimension. And if the straw were a million-million-million-million-millionth of an inch in diameter, you wouldn't notice the circular

измерения вообще. Это - картина, благодаря которой теоретики струн имеют дополнительные измерения — они сильно изогнуты или закручены, в масштабе настолько маленьком, что мы их не видим. В теории струн дополнительные измерения свернуты в то, что называют внутренним пространством, в противоположность трехмерному пространству, которое мы извлекаем в повседневной жизни. Как мы увидим, эти внутренние состояния - не просто скрытые, смятые измерения — у них есть важное физическое значение.

В дополнение к вопросу об измерениях, теория струн пострадала от другой нелепой проблемы. Казалось, было по крайней мере пять различных теорий и миллионы способов, которыми могли быть свернуты дополнительные измерения, что было настоящей помехой для перспектив тех, кто отстаивал, что теория струн была уникальной теорией всего. Затем, приблизительно в 1994 году, люди начали обнаруживать дуальности — что различные теории струн и различные способы свернуть дополнительные измерения являются просто различными способами описать одни и те же явления в четырех измерениях. Кроме того, они обнаружили, что супергравитация также связана таким способом с другими теориями.

dimension at all. That is the picture string theorists have of the extra dimensions—they are highly curved, or curled, on a scale so small that we don't see them. In string theory the extra dimensions are curled up into what is called the internal space, as opposed to the three-dimensional space that we experience in everyday life. As we'll see, these internal states are not just hidden dimensions swept under the rug—they have important physical significance.

In addition to the question of dimensions, string theory suffered from another awkward issue: There appeared to be at least five different theories and millions of ways the extra dimensions could be curled up, which was quite an embarrassment of possibilities for those advocating that string theory was the *unique* theory of everything. Then, around 1994, people started to discover dualities—that different string theories, and different ways of curling up the extra dimensions, are simply different ways of describing the same phenomena in four dimensions. Moreover, they found that supergravity is also related to the other theories in

Теоретики струн теперь убеждены, что пять различных теорий струн и супергравитация - только различные приближения к более фундаментальной теории, каждая справедлива в различных ситуациях.

Эту более фундаментальную теорию называют М-теорией, как мы упоминали ранее. Никто, похоже, не знает, что означает "М": может быть "материнская", "магическая" или "мистическая". Похоже, все три. Люди все еще пытаются разгадать природу М-теории, но, может быть, это невозможно. Может статься, что традиционное ожидание физиков единственной теории природы необоснованно, и единственной формулировки не существует. Быть может, чтобы описать Вселенную, нам придётся в разных ситуациях применять различные теории. У каждой теории может быть своя собственная версия действительности, но, согласно модельно-ориентированному реализму, это приемлемо, поскольку теории согласуются в своих предсказаниях всякий раз, когда они частично совпадают, то есть всякий раз, когда они могут обе быть применены.

Вне зависимости от того, существует ли М-теория как единая формула или представляет собой лишь систему, мы знаем о некоторых её свойствах. Во-первых, в М-теории одиннадцать

this way. String theorists are now convinced that the five different string theories and supergravity are just different approximations to a more fundamental theory, each valid in different situations.

That more fundamental theory is called M-theory, as we mentioned earlier. No one seems to know what the "M" stands for, but it may be "master," "miracle," or "mystery." It seems to be all three. People are still trying to decipher the nature of M-theory, but that may not be possible. It could be that the physicist's traditional expectation of a single theory of nature is untenable, and there exists no single formulation. It might be that to describe the universe, we have to employ different theories in different situations. Each theory may have its own version of reality, but according to model-dependent realism, that is acceptable so long as the theories agree in their predictions whenever they overlap, that is, whenever they can both be applied.

Whether M-theory exists as a single formulation or only as a network, we do know some of its properties. First, M-theory has eleven



пространственно-временных измерений, вместо десяти. Теоретики струн давно подозревали, что предсказание о десяти измерениях придётся подкорректировать и недавние исследования показали, что действительно - одно измерение было пропущено. Также, в М-теории могут быть не только вибрирующие струны, но ещё и точки-частицы, двумерные мембраны, трёхмерные пузыри и другие объекты, более сложные в изображении и занимающие даже больше измерений пространства, вплоть до девяти. Такие объекты называют р-бранами (где  $p$  изменяется от 0 до 9).



**Соломки и Линии.** Соломка является двумерной, но если её диаметр мал, или мы смотрим на неё издалека, она кажется одномерной, как линия.

space-time dimensions, not ten. String theorists had long suspected that the prediction of ten dimensions might have to be adjusted, and recent work showed that one dimension had indeed been overlooked. Also, M-theory can contain not just vibrating strings but also point particles, two-dimensional membranes, three-dimensional blobs, and other objects that are more difficult to picture and occupy even more dimensions of space, up to nine. These objects are called  $p$ -branes (where  $p$  runs from zero to nine).



**Straws and Lines** A straw is two-dimensional, but if its diameter is small enough—or if it is viewed from a distance—it appears to be one-dimensional, like a line.

А что на счет гигантского количества путей свертывания крошечных измерений? В М-теории такие дополнительные измерения не могут быть свернуты как угодно. Математический аппарат теории ограничивает способы, которыми могут быть свернуты измерения внутреннего пространства. Конкретная форма внутренних измерений определяет и значения физических констант, таких как заряд электрона, и природу взаимодействий между элементарными частицами. Другими словами - она определяет действительные законы природы. Мы говорим "действительные" потому, что мы имеем в виду законы, которые мы наблюдаем в нашей Вселенной - законы четырех сил и параметров, таких как масса и заряд, характеризующих элементарные частицы. Но более фундаментальные законы - законы М-теории.

Законы М-теории поэтому учитывают различные вселенные с различными наблюдаемыми законами, в зависимости от того, как закручено внутреннее пространство. У М-теории есть решения, которые учитывают многие различные внутренние пространства, возможно, целых  $10^{500}$ , что означает, что она допускает  $10^{500}$  различных

What about the enormous number of ways to curl up the tiny dimensions? In M-theory those extra space dimensions cannot be curled up in just any way. The mathematics of the theory restricts the manner in which the dimensions of the internal space can be curled. The exact shape of the internal space determines both the values of physical constants, such as the charge of the electron, and the nature of the interactions between elementary particles. In other words, it determines the apparent laws of nature. We say "apparent" because we mean the laws that we observe in our universe—the laws of the four forces, and the parameters such as mass and charge that characterize the elementary particles. But the more fundamental laws are those of M-theory.

The laws of M-theory therefore allow for *different universes* with different apparent laws, depending on how the internal space is curled. M-theory has solutions that allow for many different internal spaces, perhaps as many as  $10^{500}$ , which means it allows for  $10^{500}$  different

вселенных, каждую со своими собственными законами. Чтобы понять, насколько это много, подумайте вот о чем. Если бы некое существо могло анализировать законы, предсказанные для каждой из тех вселенных, всего лишь за одну миллисекунду, и начало бы работать над ними вслед за Большим Взрывом, в настоящее время это существо рассмотрело бы лишь  $10^{20}$  из них. И это без перерывов на кофе.

Столетиями ранее, Ньютон доказал, что математические уравнения могут предоставить поразительно точные описания взаимодействий объектов, как на Земле, так и в небе. Учёных привели к вере в то, что будущее всей Вселенной откроется их взору, лишь только мы узнаем правильную теорию и будем иметь достаточно компьютерных мощностей. Потом пришла квантовая неопределённость, искривлённое пространство, кварки, струны с лишними измерениями, и общее количество вселенных из них -  $10^{500}$ , каждая со своими законами и лишь одна из которых соотносится со Вселенной, которая известна нам. От исконной надежды физиков - выработать единую теорию, объясняющую действительные законы нашей Вселенной как уникальную вероятность последствия нескольких простых допущений - следует отказаться. Что же это нам даёт? Если М-теория допускает  $10^{500}$  различных случаев действительных

universes, each with its own laws. To get an idea how many that is, think about this: If some being could analyze the laws predicted for each of those universes in just one millisecond and had started working on it at the big bang, at present that being would have studied just  $10^{20}$  of them. And that's without coffee breaks.

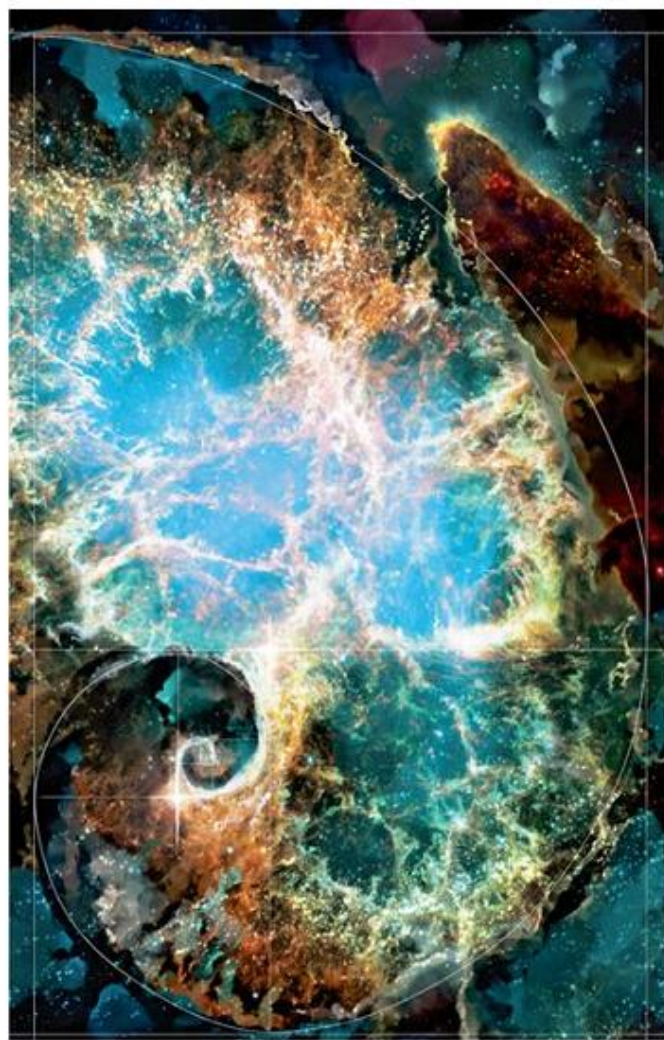
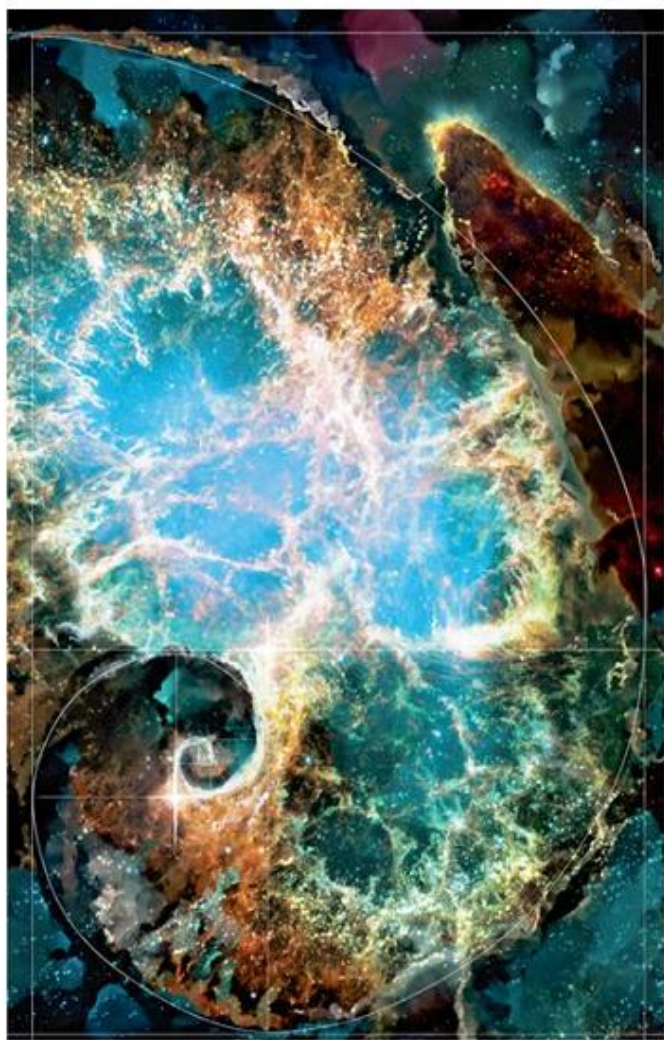
Centuries ago Newton showed that mathematical equations could provide a startlingly accurate description of the way objects interact, both on earth and in the heavens. Scientists were led to believe that the future of the entire universe could be laid out if only we knew the proper theory and had enough computing power. Then came quantum uncertainty, curved space, quarks, strings, and extra dimensions, and the net result of their labor is  $10^{500}$  universes, each with different laws, only one of which corresponds to the universe as we know it. The original hope of physicists to produce a single theory explaining the apparent laws of our universe as the unique possible consequence of a few simple assumptions may have to be abandoned. Where does that leave us? If M-theory allows for  $10^{500}$  sets of apparent

законов, как же мы оказались именно в этой Вселенной, с законами действительными для нас? И как насчёт тех, других возможных миров?

laws, how did we end up in this universe, with the laws that are apparent to us? And what about those other possible worlds?







6



ВЫБИРАЯ НАШУ ВСЕЛЕННУЮ

6



CHOOSING OUR UNIVERSE

**С**ОГЛАСНО ВЕРОВАНИЯМ БАШОНГО,

племени из Центральной Африки, вначале была только тьма, вода, и великий Бог Бумба. Однажды Бумбу, мучающегося от желудочных колик, стошнило Солнцем. Спустя какое-то время Солнце испарило часть воды, образовав Землю. Но боль Бумбы не прекращалась, а с ней и тошнота. Её результатом стала Луна, звёзды и затем некоторые животные: леопард, крокодил, черепаха и, наконец, человек. Индейцы майя, населявшие Мексику и Центральную Америку похоже описывают время до творения, когда существовали лишь море, небо и Творец. В легендах майя Творец, будучи несчастлив от того, что его никто не славил, создал Землю, горы, деревья и большинство животных. Однако животные не могли говорить, и он решил создать людей. Поначалу он сделал их из грязи и земли, но они были способны лишь нести вздор. Он дал им исчезнуть и попробовал снова, в этот раз вырезав людей из дерева. Ну и тупыми же они оказались. Он решил уничтожить их, но они сбежали в лес, претерпев на этом пути травмы, слегка изменившие их, создав то, что нам сегодня известно как

**A**CCORDING TO THE BOSHONGO PEOPLE of central Africa, in the beginning there was only darkness, water, and the great god Bumba. One day Bumba, in pain from a stomachache, vomited up the sun. In time the sun dried up some of the water, leaving land. But Bumba was still in pain, and vomited some more. Up came the moon, the stars, and then some animals: the leopard, the crocodile, the turtle, and finally man. The Mayans of Mexico and Central America tell of a similar time before creation when all that existed were the sea, the sky, and the Maker. In the Mayan legend the Maker, unhappy because there was no one to praise him, created the earth, mountains, trees, and most animals. But the animals could not speak, and so he decided to create humans. First he made them of mud and earth, but they only spoke nonsense. He let them dissolve away and tried again, this time fashioning people from wood. Those people were dull. He decided to destroy them, but they escaped into the forest, sustaining damage along the way that altered them slightly, creating what we today know as



обезьяны. После этого провала Творец, наконец, нашёл работающую формулу и соорудил первых людей из белой и жёлтой кукурузы. Сегодня мы делаем этанол из зерна, но до сих пор не смогли превзойти Создателя людей, которые пьют его.

Мифы о создании, подобные этим, пытаются ответить на вопросы, к которым мы обращаемся в этой книге: Почему существует Вселенная, почему она именно такая? Наша способность задаваться такими вопросами столетиями росла и укреплялась, начиная с древних греков, но наиболее глубоко - за прошлое столетие. Проведя подготовительную работу в предыдущих главах, мы теперь готовы предложить возможный ответ на эти вопросы.

Одна идея, которая, возможно, была очевидна даже в прежние времена, состояла в том, что или Вселенная была сравнительно недавно создана, или люди, существуют только небольшой отрезок космической истории. Потому что человеческий род так быстро развивает знания и технологии, что, если бы люди существовали в течение миллионов лет, человеческий род намного бы продвинулся бы в своем совершенстве.

Согласно Ветхому Завету, Бог создал

monkeys. After that fiasco, the Maker finally came upon a formula that worked, and constructed the first humans from white and yellow corn. Today we make ethanol from corn, but so far haven't matched the Maker's feat of constructing the people who drink it.

Creation myths like these all attempt to answer the questions we address in this book: Why is there a universe, and why is the universe the way it is? Our ability to address such questions has grown steadily in the centuries since the ancient Greeks, most profoundly over the past century. Armed with the background of the previous chapters, we are now ready to offer a possible answer to these questions.

One thing that may have been apparent even in early times was that either the universe was a very recent creation or else human beings have existed for only a small fraction of cosmic history. That's because the human race has been improving so rapidly in knowledge and technology that if people had been around for millions of years, the human race would be much further along in its mastery.

According to the Old Testament, God created

Адама и Еву всего за шесть дней. Епископ Ашер, примаस всей Ирландии с 1625 до 1656, указал происхождение мира еще более точно, в девять утра 27 октября, 4004 до н.э. Мы имеем другую точку зрения: что человечество возникло сравнительно недавно, а Вселенная существует много дольше - около 13.7 миллиардов лет.

Первое фактическое научное доказательство, что у Вселенной было начало, появилось в 1920-ых. Как мы сказали в Главе 3, было время, когда большинство ученых верило в статическую Вселенную, которая всегда существовала. Доказательства, правда, были косвенными, основанными на наблюдениях Эдвина Хаббла, сделанных с помощью 100-дюймового телескопа на горе Уилсона, на холмах выше Пасадены, Калифорния. Анализируя спектр света, который излучают галактики, Хаббл решил, что почти все галактики отдаляются от нас, и чем дальше они, тем быстрее они удаляются. В 1929 он открыл закон, связывающий падение интенсивности излучения галактик с их расстоянием от нас, и пришел к заключению, что Вселенная расширяется. Если это верно, то Вселенная, должно быть, была меньше в прошлом. Фактически, если мы экстраполируем к отдаленному прошлому, вся

Adam and Eve only six days into creation. Bishop Ussher, primate of all Ireland from 1625 to 1656, placed the origin of the world even more precisely, at nine in the morning on October 27, 4004 BC. We take a different view: that humans are a recent creation but that the universe itself began much earlier, about 13.7 billion years ago.

The first actual scientific evidence that the universe had a beginning came in the 1920s. As we said in [Chapter 3](#), that was a time when most scientists believed in a static universe that had always existed. The evidence to the contrary was indirect, based upon the observations Edwin Hubble made with the 100-inch telescope on Mount Wilson, in the hills above Pasadena, California. By analyzing the spectrum of light they emit, Hubble determined that nearly all galaxies are moving away from us, and the farther away they are, the faster they are moving. In 1929 he published a law relating their rate of recession to their distance from us, and concluded that the universe is expanding. If that is true, then the universe must have been smaller in the past. In fact, if we extrapolate to the distant past, all the

материя и энергия во Вселенной были бы сконцентрированы в очень крошечной области невообразимой плотности и температуры, и если бы мы вернулись достаточно далеко, когда все это началось, это событие, мы теперь называем Большим Взрывом.

Идея, что Вселенная расширяется, включает в себе некоторую тонкость. Например, мы не подразумеваем, что Вселенная расширяется таким образом, что, скажем, можно было бы расширить дом, выбивая стену и помещая новую ванную, в том месте, где когда-то возвышался величественный дуб. Вернее сказать, что не пространство расширяет само себя, а то, что увеличивается расстояние между двумя любыми точками Вселенной, которая расширяется. Эта идея появилась в 1930-х среди многочисленных дискуссий, но одним из лучших способов наглядно продемонстрировать это, является метафора, изложенная в 1931 Кембриджским университетским астрономом Артуром Эддингтоном. Эддингтон представил Вселенную как поверхность расширяющегося воздушного шара, и все галактики как точки на его поверхности. Эта картина ясно иллюстрирует, почему далекие галактики разлетаются более быстро, чем соседние. Например, если радиус воздушного шара, удваивался каждый час, то расстояние между любыми двумя галактиками на

matter and energy in the universe would have been concentrated in a very tiny region of unimaginable density and temperature, and if we go back far enough, there would be a time when it all began—the event we now call the big bang.

The idea that the universe is expanding involves a bit of subtlety. For example, we don't mean the universe is expanding in the manner that, say, one might expand one's house, by knocking out a wall and positioning a new bathroom where once there stood a majestic oak. Rather than space *extending* itself, it is the distance between any two points *within* the universe that is growing. That idea emerged in the 1930s amid much controversy, but one of the best ways to visualize it is still a metaphor enunciated in 1931 by Cambridge University astronomer Arthur Eddington. Eddington visualized the universe as the surface of an expanding balloon, and all the galaxies as points on that surface. This picture clearly illustrates why far galaxies recede more quickly than nearby ones. For example, if the radius of the balloon doubled each hour, then the distance between any two galaxies on the

воздушном шаре также удваивалось бы каждый час. Если бы в некоторое время две галактики были на расстоянии в 1 дюйм, то час спустя они были бы на расстоянии в 2 дюйма, и они, казалось бы, двигались бы друг относительно друга со скоростью 1 дюйма в час. Но если бы они начали на расстоянии в 2 дюйма, то час спустя они были бы отделены на 4 дюйма и, казалось бы, разбежались друг от друга со скоростью 2 дюйма в час. Вот, что обнаружил Хаббл: чем дальше галактика, тем быстрее она удаляется от нас.

Важно понять, что расширение пространства не затрагивает размер материальных объектов, таких как галактики, звезды, яблоки, атомы, или другие объекты, скрепляемые некоторой силой. Например, если бы мы закрепили скопление галактик прочным кольцом на шаре, то это кольцо не расширялось бы, хотя шар продолжал бы расширяться. Это потому, что галактики связаны гравитационными силами, кольцо и галактики в пределах него сохраняли бы их размер и конфигурацию, тогда как шар увеличивался. Это важно, потому что мы можем обнаружить расширение, только если наши измерительные приборы имеют фиксированные размеры. Если бы все свободно расширялось, то мы, наши измерительные линейки, наши лаборатории, и так далее все

balloon would double each hour. If at some time two galaxies were 1 inch apart, an hour later they would be 2 inches apart, and they would appear to be moving relative to each other at a rate of 1 inch per hour. But if they started 2 inches apart, an hour later they would be separated by 4 inches and would appear to be moving away from each other at a rate of 2 inches per hour. That is just what Hubble found: the farther away a galaxy, the faster it was moving away from us.

It is important to realize that the expansion of space does not affect the size of material objects such as galaxies, stars, apples, atoms, or other objects held together by some sort of force. For example, if we circled a cluster of galaxies on the balloon, that circle would not expand as the balloon expanded. Rather, because the galaxies are bound by gravitational forces, the circle and the galaxies within it would keep their size and configuration as the balloon enlarged. This is important because we can detect expansion only if our measuring instruments have fixed sizes. If everything were free to expand, then we, our yardsticks, our laboratories, and so on would all



расширились бы пропорционально, и мы не заметили бы различия.



**Вселенная на Воздушном Шаре.** Далекие галактики убегают от нас, как если бы весь космос находился на поверхности гигантского воздушного шарика.

То, что Вселенная расширяется, было новостью для Эйнштейна. Но возможность, что галактики разлетаются друг от друга, была высказана за несколько лет до статей Хаббла на теоретической почве, являющейся результатом собственных уравнений Эйнштейна. В 1922 году российский физик и математик

expand proportionately and we would not notice any difference.



**Balloon Universe** Distant galaxies recede from us as if the cosmos were all on the surface of a giant balloon.

That the universe is expanding was news to Einstein. But the possibility that the galaxies are moving away from each other had been proposed a few years before Hubble's papers on theoretical grounds arising from Einstein's own equations. In 1922, Russian physicist and mathematician

Александр Фридман исследовал то, что произойдет с моделью Вселенной, основанной на двух предположениях, которые очень упростили математику: он предположил, что, во-первых, Вселенная выглядит одинаково во всех направлениях и, во-вторых, из любой точки. Мы знаем, что первое предположение Фридмана не совсем верно — Вселенная, к счастью, не всюду однородна! Скажем, просто взглянув вверх, мы могли бы увидеть Солнце, а могли бы — и Луну. Или даже колонию летучих мышей. Но Вселенная, действительно кажется, примерно одинаковой в каждом направлении, когда рассматривается в масштабе, который намного больше — больше даже чем расстояние между галактиками. Это что-то вроде того, как наблюдать за лесом сверху. Если Вы находитесь достаточно близко, Вы сможете разобрать отдельные листья, или, по крайней мере, деревья, и пространства между ними. Но если Вы будете настолько высоко, что, если Вы протягиваете большой палец, и он покрывает квадратную милю деревьев, то лес, будет казаться однородным оттенком зеленого. Мы сказали бы, что в том масштабе лес однороден.

Основываясь на своих предположениях, Фридман смог обнаружить решение в уравнениях Эйнштейна,

Alexander Friedmann investigated what would happen in a model universe based upon two assumptions that greatly simplified the mathematics: that the universe looks identical in every direction, and that it looks that way from every observation point. We know that Friedmann's first assumption is not exactly true—the universe fortunately is not uniform everywhere! If we gaze upward in one direction, we might see the sun; in another, the moon or a colony of migrating vampire bats. But the universe does appear to be roughly the same in every direction when viewed on a scale that is far larger—larger even than the distance between galaxies. It is something like looking down at a forest. If you are close enough, you can make out individual leaves, or at least trees, and the spaces between them. But if you are so high up that if you hold out your thumb it covers a square mile of trees, the forest will appear to be a uniform shade of green. We would say that, on that scale, the forest is uniform.

Based on his assumptions Friedmann was able to discover a solution to Einstein's equations in

при котором Вселенная расширялась, что Хаббл и подтвердил вскоре своими наблюдениями. В частности модель Вселенной Фридмана начинается с нулевого размера и расширяется до тех пор, пока гравитационное притяжение не замедлит расширение, и, в конечном счете, не заставляет ее снова схлопнуться в себя. (Есть, оказывается, два других типа решений уравнений Эйнштейна, которые также удовлетворяют предположениям о модели Фридмана, одно соответствует Вселенной, в которой расширение продолжается всегда, хотя и действительно замедляется немного, и другой Вселенной, в которой темп расширения замедляется к нулю, но никогда не достигает его). Фридман умер спустя несколько лет после своей этой работы, и его идеи оставались в значительной степени неизвестными, пока Хаббл их не подтвердил. Но в 1927 преподаватель физики и римско-католический священник по имени Джорджес Лемэйтр предложил подобную идею. Если Вы проследите историю Вселенной назад в прошлое, она становится все более крошечной, пока Вы не наталкиваетесь на момент создания, который мы теперь называем Большим Взрывом.

Не всем понравилась картина Большого Взрыва. Фактически, термин "Большой Взрыв", который он назвал с некоторой иронией, был введен в 1949

which the universe expanded in the manner that Hubble would soon discover to be true. In particular, Friedmann's model universe begins with zero size and expands until gravitational attraction slows it down, and eventually causes it to collapse in upon itself. (There are, it turns out, two other types of solutions to Einstein's equations that also satisfy the assumptions of Friedmann's model, one corresponding to a universe in which the expansion continues forever, though it does slow a bit, and another to a universe in which the rate of expansion slows toward zero, but never quite reaches it.) Friedmann died a few years after producing this work, and his ideas remained largely unknown until after Hubble's discovery. But in 1927 a professor of physics and Roman Catholic priest named Georges Lemaître proposed a similar idea: If you trace the history of the universe backward into the past, it gets tinier and tinier until you come upon a creation event—what we now call the big bang.

Not everyone liked the big bang picture. In fact, the term "big bang" was coined in 1949 by

Кембриджским астрофизиком Фредом Хойлом, который верил во Вселенную, которая расширяется всегда. Непосредственные наблюдения долго не могли подтвердить эту идею, пока в 1965 году не было открыто, что есть слабый фон сверхчастотных волн всюду во Вселенной. Это космическое микроволновое фоновое излучение (или реликтовое излучение), или CMBR, является тем же самым как и Вашей микроволновой печи, но намного менее сильным. Вы можете наблюдать реликтовое излучение самостоятельно, настраивая Ваше телевидение на неиспользованный канал — несколько процентов снега, который Вы видите на экране, будет вызван этим. Радиация была обнаружена случайно двумя учеными Bell Labs, пытающимися устранить такое помехи в их микроволновой антенне. Сначала они думали, что помехи могли произойти из-за голубей, усаживающихся на их антенну, но оказалось, что проблема имела очень интересную природу - реликтовое излучение - радиация, перенесенная от очень горячей и плотной ранней Вселенной, которая существовала вскоре после Большого Взрыва. Поскольку Вселенная расширялась, она охлаждалась, пока радиация не стала только слабым остатком, который мы теперь наблюдаем. В настоящее время это реликтовое излучение могло бы нагреть

Cambridge astrophysicist Fred Hoyle, who believed in a universe that expanded forever, and meant the term as a derisive description. The first direct observations supporting the idea didn't come until 1965, with the discovery that there is a faint background of microwaves throughout space. This cosmic microwave background radiation, or CMBR, is the same as that in your microwave oven, but much less powerful. You can observe the CMBR yourself by tuning your television to an unused channel—a few percent of the snow you see on the screen will be caused by it. The radiation was discovered by accident by two Bell Labs scientists trying to eliminate such static from their microwave antenna. At first they thought the static might be coming from the droppings of pigeons roosting in their apparatus, but it turned out their problem had a more interesting origin—the CMBR is radiation left over from the very hot and dense early universe that would have existed shortly after the big bang. As the universe expanded, it cooled until the radiation became just the faint remnant we now observe. At present these microwaves could heat



Вашу еду до приблизительно  $-270$  градусов по Цельсию, т. е. только на 3 градуса выше абсолютного нуля, что не очень полезно для разогрева попкорна.

Астрономы также нашли другие отпечатки, подтверждающие картину Большого Взрыва горячей, крошечной ранней Вселенной. Например, в течение первой минуты или около того, Вселенная была более горячей, чем центр типичной звезды. Во время того периода вся Вселенная действовала как реактор ядерного синтеза. Реакции прекратились бы, когда Вселенная расширится и достаточно охладится, но теория предсказывает, что тогда Вселенную должна была бы состоять, главным образом, из водорода, но также приблизительно с 23% гелия, с незначительным количеством лития (все более тяжелые элементы возникли позже в звездах). Расчеты находятся в хорошем соответствии с количеством гелия, водорода, и лития, который мы наблюдаем.

Наличие большого количества гелия и реликтовое излучение обеспечили убедительное доказательство в пользу картины Большого Взрыва очень ранней Вселенной, но хотя можно думать о картине Большого Взрыва как о действительном описании ранних времен, неправильно понимать Большой Взрыв буквально, то есть считать теорию Эйнштейна

your food to only about  $-270$  degrees Centigrade—3 degrees above absolute zero, and not very useful for popping corn.

Astronomers have also found other fingerprints supporting the big bang picture of a hot, tiny early universe. For example, during the first minute or so, the universe would have been hotter than the center of a typical star. During that period the entire universe would have acted as a nuclear fusion reactor. The reactions would have ceased when the universe expanded and cooled sufficiently, but the theory predicts that this should have left a universe composed mainly of hydrogen, but also about 23 percent helium, with traces of lithium (all heavier elements were made later, inside stars). The calculation is in good accordance with the amounts of helium, hydrogen, and lithium we observe.

Measurements of helium abundance and the CMBR provided convincing evidence in favor of the big bang picture of the very early universe, but although one can think of the big bang picture as a valid description of early times, it is wrong to take the big bang literally, that is, to think of Einstein's

как описание истинной картины происхождения Вселенной. Это потому что Общая теория относительности предсказывает, что должна была быть точка во времени, в которой температура, плотность, и искривление Вселенной были бесконечны, эту ситуацию математики называют сингулярностью. Для физиков это означает, что теория Эйнштейна прерывается в той точке и поэтому не может использоваться, чтобы предсказать, как Вселенная началась, только как она развивалась позже. Так как, хотя мы можем использовать уравнения Общей теории относительности и наши наблюдения за Вселенной, чтобы узнать о ней в очень молодом возрасте, не корректно полностью переносить картину Большого Взрыва назад к началу.

Мы скоро доберемся до проблемы происхождения Вселенной, но сначала несколько слов о первой фазе расширения. Физики называют это раздуванием или инфляцией. Если бы Вы жили в Зимбабве, где инфляция валюты недавно превысила 200 000 000 процентов, термин, возможно, не показался вам очень уж надуманным. Но согласно даже скромным подсчетам, во время этой космологической инфляции, Вселенная расширилась с коэффициентом 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000

theory as providing a true picture of the *origin* of the universe. That is because general relativity predicts there to be a point in time at which the temperature, density, and curvature of the universe are all infinite, a situation mathematicians call a singularity. To a physicist this means that Einstein's theory breaks down at that point and therefore cannot be used to predict how the universe began, only how it evolved afterward. So although we can employ the equations of general relativity and our observations of the heavens to learn about the universe at a very young age, it is not correct to carry the big bang picture all the way back to the beginning.

We will get to the issue of the origin of the universe shortly, but first a few words about the first phase of the expansion. Physicists call it inflation. Unless you've lived in Zimbabwe, where currency inflation recently exceeded 200,000,000 percent, the term may not sound very explosive. But according to even conservative estimates, during this cosmological inflation, the universe expanded by a factor of 1,000,000,000,000,000,000,000,000,000

B

[illegible]

Идея, что такой эпизод инфляции, возможно, произошел, была впервые предложена в 1980 году, она основана на размышлениях, которые идут вне Общей теории относительности Эйнштейна и основываются на аспектах квантовой теории. Так как мы не имеем полной квантовой теории гравитации, детали все еще проясняются, и физики не уверены точно, как произошло расширение. Но согласно теории, расширение, вызванное инфляцией, не было бы абсолютно однородно, как предсказано традиционной картиной Большого Взрыва. Эта неравномерность произвела бы крохотные отличия в температуре реликтового излучения в различных направлениях. Эти отличия являются слишком маленькими, чтобы их можно было наблюдать в 1960-ых годах, но они были сначала обнаружены в 1992 спутником НАСА COBE, и

in

.0000000000000000000000000000000001  
second. It was as if a coin 1 centimeter in diameter suddenly blew up to ten million times the width of the Milky Way. That may seem to violate relativity, which dictates that nothing can move faster than light, but that speed limit does not apply to the expansion of space itself.

The idea that such an episode of inflation might have occurred was first proposed in 1980, based on considerations that go beyond Einstein's theory of general relativity and take into account aspects of quantum theory. Since we don't have a complete quantum theory of gravity, the details are still being worked out, and physicists aren't sure exactly how inflation happened. But according to the theory, the expansion caused by inflation would not be *completely* uniform, as predicted by the traditional big bang picture. These irregularities would produce minuscule variations in the temperature of the CMBR in different directions. The variations are too small to have been observed in the 1960s, but they were first discovered in 1992 by NASA's COBE satellite, and

позже измерены его преемником, спутником WMAP, запущенным в 2001 году. В результате мы теперь уверены, что инфляция действительно происходила.

Как ни странно, хотя крошечные отличия в реликтовом излучении являются доказательством инфляции, одним из подтверждений инфляции является важная концепция, о том, что существует почти идеальная однородность температуры реликтового излучения. Если Вы нагреете одну область объекта, и затем подождете, то горячая область станет более прохладной, а вся остальная часть объекта - более теплой, пока температура всего объекта не выровняется. Точно так же можно было бы ожидать, что у Вселенной, в конечном счете, будет однородная температура. Но процесс этот занимает определенное время и если предположить, что инфляции не было, и скорость передачи тепла была бы ограничена скоростью света, то времени существования Вселенной просто не хватило бы чтобы уравнивать температуры самых удаленных областей. Период очень быстрого расширения (намного быстрее, чем скорость света) устраняет это, потому что, возможно, было достаточно времени для уравнивания, чтобы произойти в чрезвычайно крошечной преинфляционной ранней Вселенной.

Инфляция объясняет взрыв в Большом Взрыве,

later measured by its successor, the WMAP satellite, launched in 2001. As a result, we are now confident that inflation really did happen.

Ironically, though tiny variations in the CMBR are evidence for inflation, one reason inflation is an important concept is the nearly perfect uniformity of the temperature of the CMBR. If you make one part of an object hotter than its surroundings and then wait, the hot spot will grow cooler and its surroundings warmer until the temperature of the object is uniform. Similarly, one would expect the universe to eventually have a uniform temperature. But this process takes time, and if inflation hadn't occurred, there wouldn't have been enough time in the history of the universe for heat at widely separated regions to equalize, assuming that the speed of such heat transfer is limited by the speed of light. A period of very rapid expansion (much faster than light speed) remedies that because there would have been enough time for the equalization to happen in the extremely tiny preinflationary early universe.

Inflation explains the bang in the big bang, at



по крайней мере в том смысле, что расширение, которое она представляет, было намного более значительным, чем расширение, предсказанное традиционной теорией "Большого Взрыва" в теории общей относительности в течение временного интервала, в котором произошла инфляция. Проблема в том, что для того, чтобы наши теоретические модели инфляции работали, начальное состояние Вселенной должно было быть устроено очень специфическим и очень невероятным способом. Таким образом, традиционная теория инфляции решает одни проблемы, но создает другие — потребность в очень специфическом начальном состоянии. Эта проблема нулевого времени устранена в теории создания Вселенной, которую мы собираемся описать.

Так как мы не можем описать создание, используя теорию общей относительности Эйнштейна, и если мы хотим описать происхождение Вселенной, общая теория относительности должна быть заменена более совершенной теорией. И все же необходимо иметь более совершенную теорию, ведь даже если бы общая теория относительности не потерпела неудачу, потому что она не принимает во внимание некоторые вопросы, которыми занимается квантовая теория. Мы упоминали в [Главе 4](#), что для большинства практических вопросов квантовая теория не подходит для

least in the sense that the expansion it represents was far more extreme than the expansion predicted by the traditional big bang theory of general relativity during the time interval in which inflation occurred. The problem is, for our theoretical models of inflation to work, the initial state of the universe had to be set up in a very special and highly improbable way. Thus traditional inflation theory resolves one set of issues but creates another—the need for a very special initial state. That time-zero issue is eliminated in the theory of the creation of the universe we are about to describe.

Since we cannot describe creation employing Einstein's theory of general relativity, if we want to describe the origin of the universe, general relativity has to be replaced by a more complete theory. One would expect to need a more complete theory even if general relativity did not break down, because general relativity does not take into account the small-scale structure of matter, which is governed by quantum theory. We mentioned in [Chapter 4](#) that for most practical purposes quantum theory does not hold much relevance for

исследования крупномасштабных структур Вселенной, потому что квантовая теория применяется для описания природы на микроскопическом уровне. Но если Вы рассматриваете достаточно далекое время, когда Вселенная была столь же маленькой, как размер Планка, одна миллиард-триллион-триллионная часть сантиметра, который является масштабом, в котором действительно должна быть принята во внимание квантовая теория. Так, хотя у нас еще нет полной квантовой теории гравитации, мы действительно знаем, что происхождение Вселенной было квантовым случаем. И в результате, как мы объединили квантовую теорию и общую теорию относительности - по крайней мере условно - чтобы вывести теорию инфляции, то если мы хотим вернуться еще дальше во времени и понять происхождение Вселенной, мы должны объединить то, что мы знаем об общей теории относительности, с квантовой теорией.

Чтобы видеть, как это работает, мы должны понять принцип, что гравитация деформирует пространство и время. Искривление пространства легче визуализировать, чем искривление времени. Представьте, что Вселенная - поверхность плоского бильярдного стола. Поверхность стола - плоское место, по крайней мере в двух измерениях. Если Вы будете катить шар по столу, то он будет двигаться по прямой линии. Но если стол станет деформированным или вдавленным в местах, как

the study of the large-scale structure of the universe because quantum theory applies to the description of nature on microscopic scales. But if you go far enough back in time, the universe was as small as the Planck size, a billion-trillion-trillionth of a centimeter, which is the scale at which quantum theory does have to be taken into account. So though we don't yet have a complete quantum theory of gravity, we do know that the origin of the universe was a quantum event. As a result, just as we combined quantum theory and general relativity—at least provisionally—to derive the theory of inflation, if we want to go back even further and understand the origin of the universe, we must combine what we know about general relativity with quantum theory.

To see how this works, we need to understand the principle that gravity warps space and time. Warpage of space is easier to visualize than warpage of time. Imagine that the universe is the surface of a flat billiard table. The table's surface is a flat space, at least in two dimensions. If you roll a ball on the table it will travel in a straight line. But if the table becomes warped or dented in places, as

на иллюстрации ниже, то шар будет двигаться по кривой.



**Искривление Пространства.** Материя и энергия искривляют пространство, изменяя траектории объектов.

Легко понять, как бильярдный стол деформирован в этом примере, потому что он изгибается во внешнее третье измерение, которое мы можем видеть. Так как мы не можем вознестись вне нашего собственного пространства-времени, чтобы рассмотреть его искривление, пространственно-временное искривление в нашей Вселенной более сложно представить. Но искривление может быть обнаружено, даже если Вы не можете подняться и рассмотреть его

in the illustration below, then the ball will curve.



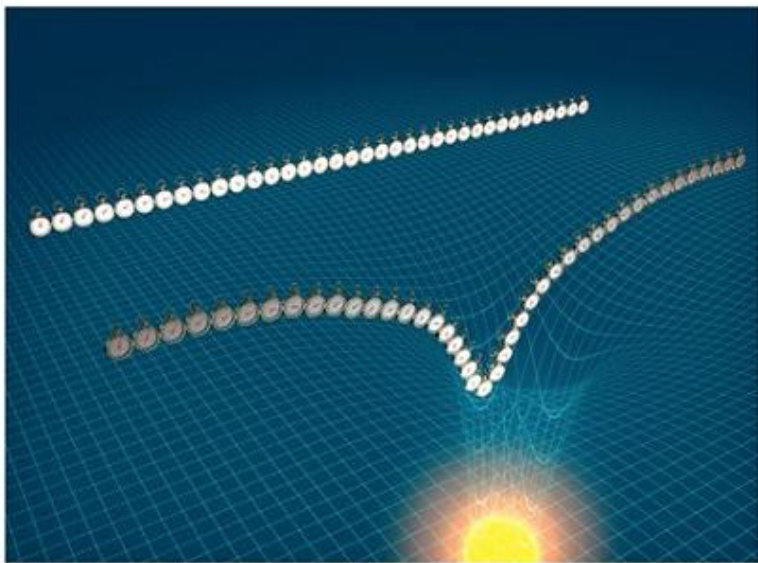
**Space Warp** Matter and energy warp space, altering the paths of objects.

It is easy to see how the billiard table is warped in this example because it is curving into an outside third dimension, which we can see. Since we can't step outside our own space-time to view its warpage, the space-time warpage in our universe is harder to imagine. But curvature can be detected even if you cannot step out and view it

с другой перспективы. Это можно обнаружить изнутри самого пространства. Вообразите микромуравья, ограниченного поверхностью стола. Даже без способности подняться над столом, муравей мог бы обнаружить искривление, тщательно фиксируя расстояния. Например, расстояние вокруг круга в плоском месте - всегда немного больше чем в три раза расстояния через его диаметр (фактическое кратное числу - пи). Но если бы муравей перемещался по окружности, охватывающий лунку в столе, изображенном выше, он определил бы, что расстояние по лунке напрямик больше чем вокруг лунки. Фактически, если бы лунка была достаточно глубокой, то муравей определил бы, что расстояние по окружности короче, чем расстояние через лунку. То же самое верно для искривления в нашей Вселенной - оно удлиняет или сокращает расстояние между точками пространства, изменяя его геометрию или форму, и это можно измерить изнутри Вселенной. Деформация отрезков времени или сжатие временных интервалов подобного рода.

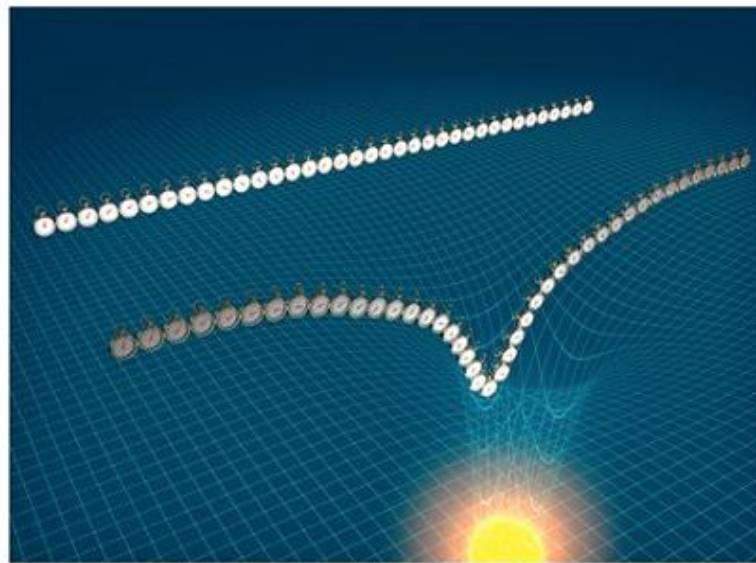
from the perspective of a larger space. It can be detected from within the space itself. Imagine a micro-ant confined to the surface of the table. Even without the ability to leave the table, the ant could detect the warpage by carefully charting distances. For example, the distance around a circle in flat space is always a bit more than three times the distance across its diameter (the actual multiple is  $\pi$ ). But if the ant cut across a circle encompassing the well in the table pictured above, it would find that the distance across is greater than expected, greater than one-third the distance around it. In fact, if the well were deep enough, the ant would find that the distance around the circle is *shorter* than the distance across it. The same is true of warpage in our universe—it stretches or compresses the distance between points of space, changing its geometry, or shape, in a way that is measurable from within the universe. Warpage of time stretches or compresses time intervals in an analogous manner.





**Искривление Пространства-Времени.** Материя и энергия искривляют время, а значит и размерность времени, связанную с пространственными размерностями.

Вооруженные этими идеями, давайте возвратимся к проблеме начала Вселенной. Мы можем говорить отдельно о пространстве и времени, которые мы рассматриваем, в ситуациях с низкими скоростями и слабой гравитацией. Вообще, однако, время и пространство могут стать взаимосвязанными, и, таким образом, их растяжение и сжатие также влекут определенного рода взаимодействия. Это взаимодействие важно в ранней



**Space-time Warp** Matter and energy warp time and cause the time dimension to "mix" with the space dimensions.

Armed with these ideas, let's return to the issue of the beginning of the universe. We can speak separately of space and time, as we have in this discussion, in situations involving low speeds and weak gravity. In general, however, time and space can become intertwined, and so their stretching and compressing also involve a certain amount of mixing. This mixing is important in the early

Вселенной, и является ключом к пониманию начала времени.

Проблема начала времени немного походит на проблему края мира. Когда люди думали, что мир был плоским, возможно, задавались вопросом, лилось ли море через его край. Это было проверено экспериментально: Любой может пропутешествовать вокруг земли и не упасть с нее. Проблема того, что случается на краю мира, была решена, когда люди поняли, что мир был не плоской пластиной, а кривой поверхностью. Время, однако, казалось, походило на модель железнодорожного полотна. Если оно имело начало, должно быть, был кто-то (то есть, Бог), чтобы организовать движение поездов. Хотя общая теория относительности Эйнштейна объединила время и пространство как пространство-время и определила взаимосвязь между пространством и временем, время все еще отличалось от пространства, и либо имело начало и конец, либо иначе продолжалось всегда. Однако, как только мы добавляем результаты квантовой теории к теории относительности, в крайних случаях искривление может произойти до такой большой степени, что время ведет себя как другое пространственное измерение.

В ранней Вселенной — когда Вселенная была

universe and the key to understanding the beginning of time.

The issue of the beginning of time is a bit like the issue of the edge of the world. When people thought the world was flat, one might have wondered whether the sea poured over its edge. This has been tested experimentally: One can go around the world and not fall off. The problem of what happens at the edge of the world was solved when people realized that the world was not a flat plate, but a curved surface. Time, however, seemed to be like a model railway track. If it had a beginning, there would have to have been someone (i.e., God) to set the trains going. Although Einstein's general theory of relativity unified time and space as space-time and involved a certain mixing of space and time, time was still different from space, and either had a beginning and an end or else went on forever. However, once we add the effects of quantum theory to the theory of relativity, in extreme cases warpage can occur to such a great extent that time behaves like another dimension of space.

In the early universe—when the universe was

достаточно маленькой, чтобы подчиняться законам и общей теории относительности и квантовой теории - было, фактически, четыре пространственных измерения и ни одного временного. Это означает, что, когда мы говорим о "начале" Вселенной, мы выделяем тонкий аспект, что, поскольку мы рассматриваем очень раннюю Вселенную, время, как мы уже знаем, не существует! Мы должны признать, что наши обычные представления о пространстве и времени не относятся к очень ранней Вселенной. Это вне нашего опыта, но не вне нашего воображения, или нашей математики. Если в ранней Вселенной все четыре измерения ведут себя как пространственные, то как возникло время?

Осознание того, что время может вести себя как другое измерение пространства, означает, что можно избавиться от проблемы времени, имея начало, подобным способом, которым мы избавились от края мира. Представьте, что начало Вселенной походило на Южный полюс земли, с градусами широты, играющими роль времени. При продвижении на север, круги постоянной широты, представляющие размер Вселенной, расширились бы. Вселенная началась бы как точка на Южном полюсе, но Южный полюс очень похож на любую другую точку.

small enough to be governed by both general relativity and quantum theory—there were effectively four dimensions of space and none of time. That means that when we speak of the “beginning” of the universe, we are skirting the subtle issue that as we look backward toward the very early universe, time as we know it does not exist! We must accept that our usual ideas of space and time do not apply to the very early universe. That is beyond our experience, but not beyond our imagination, or our mathematics. If in the early universe all four dimensions behave like space, what happens to the beginning of time?

The realization that time can behave like another direction of space means one can get rid of the problem of time having a beginning, in a similar way in which we got rid of the edge of the world. Suppose the beginning of the universe was like the South Pole of the earth, with degrees of latitude playing the role of time. As one moves north, the circles of constant latitude, representing the size of the universe, would expand. The universe would start as a point at the South Pole, but the South Pole is much like any other point.



Спрашивать, что было перед началом Вселенной, станет бессмысленно, потому что нет ничего к югу от Южного полюса. В этой модели у пространства-времени нет никакой границы — те же самые законы природы выполняются как на Южном полюсе, так в других местах. Другими словами, когда мы объединяем общую теорию относительности с квантовой теорией, вопрос "что происходило до начала Вселенной?" теряет смысл. Эту идею, что события должны были быть закрыты поверхностями без границы, называют неграничным условием.

Долгое время многие, включая Аристотеля, полагали, что Вселенная, должно быть, всегда существовала, чтобы избежать проблемы того, как она возникла. Другие полагали, что Вселенная имела начало, и использовала это как аргумент за существование Бога. Осмысление, что время ведет себя как место, представляет новую альтернативу. Это устраняет старое возражение, что Вселенная имеет начало, но также и означает, что возникновение Вселенной соответствует научным законам, и нет необходимости использовать понятие Бога.

Если начало Вселенной было квантовым

To ask what happened before the beginning of the universe would become a meaningless question, because there is nothing south of the South Pole. In this picture space-time has no boundary—the same laws of nature hold at the South Pole as in other places. In an analogous manner, when one combines the general theory of relativity with quantum theory, the question of what happened before the beginning of the universe is rendered meaningless. This idea that histories should be closed surfaces without boundary is called the no-boundary condition.

Over the centuries many, including Aristotle, believed that the universe must have always existed in order to avoid the issue of how it was set up. Others believed the universe had a beginning, and used it as an argument for the existence of God. The realization that time behaves like space presents a new alternative. It removes the age-old objection to the universe having a beginning, but also means that the beginning of the universe was governed by the laws of science and doesn't need to be set in motion by some god.

If the origin of the universe was a quantum



событием, оно могло бы быть точно описано совокупностью событий Фейнмана. Применять квантовую теорию ко всей Вселенной, где наблюдатели - часть наблюдаемой системы, является сложным, как бы то ни было. В [Главе 4](#) мы видели, как материальные частицы направлялись в экран с двумя прорезями в нем, что могло быть доказательством принципа интерференции, как и у частиц волны воды. Фейнман показал, что это возникает, потому что у частицы нет однозначно определенных событий. Таким образом, поскольку частица перемещается от своей отправной точки А к некоторой конечной точке В, она не выбирает один определенный путь, а скорее одновременно выбирает каждый возможный путь, соединяющий два пункта. С этой точки зрения, интерференция не удивительна, потому что, например, частица может переместиться через обе прорези в то же самое время и пересечься сама с собой. Применяя к движению частицы, метод Фейнмана говорит нам, что, чтобы вычислить вероятность любой отдельной конечной точки, мы должны рассмотреть все возможные события, которые могли произойти, когда частица следовала из своей отправной точки к той конечной точке. Можно также использовать методы Фейнмана, чтобы вычислить квантовые вероятности для наблюдений за Вселенной. Если они применены к Вселенной

event, it should be accurately described by the Feynman sum over histories. To apply quantum theory to the entire universe—where the observers are part of the system being observed—is tricky, however. In [Chapter 4](#) we saw how particles of matter fired at a screen with two slits in it could exhibit interference patterns just as water waves do. Feynman showed that this arises because a particle does not have a unique history. That is, as it moves from its starting point A to some endpoint B, it doesn't take one definite path, but rather simultaneously takes every possible path connecting the two points. From this point of view, interference is no surprise because, for instance, the particle can travel through both slits at the same time and interfere with itself. Applied to the motion of a particle, Feynman's method tells us that to calculate the probability of any particular endpoint we need to consider all the possible histories that the particle might follow from its starting point to that endpoint. One can also use Feynman's methods to calculate the quantum probabilities for observations of the universe. If they are applied to the universe as a

в целом, не существует точки А, таким образом, мы складываем все события, которые удовлетворяют неграничному условию и оканчиваются во Вселенной, которую мы наблюдаем сегодня.

В этом представлении Вселенная появилась спонтанно, возникая одним из равновероятных способов. Большинство из них соответствует другим вселенным. В то время как некоторые из тех вселенных подобны нашей, большинство совсем другие. Они не только различны в деталях, таких как, умер ли Элвис действительно молодым или является ли турнепс десертной пищей, а скорее они отличаются даже по их истинным законам природы. Фактически, существует много вселенных со многими различными наборами физических законов. Некоторые люди создают большое таинство из этой идеи, иногда называемой понятием мультивселенная, но они - только различные выражения совокупности событий Фейнмана.

Чтобы изобразить это, давайте изменим аналогию воздушного шара Эддингтона, и вместо этого давайте думать о расширяющейся Вселенной как о поверхности пузыря. Наша картина самопроизвольного квантового создания Вселенной тогда немного походит на формирование пузырей пара в кипящей воде. Много маленьких пузырьков появляется и затем снова исчезают. Они представляют минивселенные, которые расширяются, но затем коллапсируют

whole, there is no point A, so we add up all the histories that satisfy the no-boundary condition and end at the universe we observe today.

In this view, the universe appeared spontaneously, starting off in every possible way. Most of these correspond to other universes. While some of those universes are similar to ours, most are very different. They aren't just different in details, such as whether Elvis really did die young or whether turnips are a dessert food, but rather they differ even in their apparent laws of nature. In fact, many universes exist with many different sets of physical laws. Some people make a great mystery of this idea, sometimes called the multiverse concept, but these are just different expressions of the Feynman sum over histories.

To picture this, let's alter Eddington's balloon analogy and instead think of the expanding universe as the surface of a bubble. Our picture of the spontaneous quantum creation of the universe is then a bit like the formation of bubbles of steam in boiling water. Many tiny bubbles appear, and then disappear again. These represent mini-universes that expand but collapse again

до микроскопического размера. Они представляют возможные альтернативные вселенные, но они не очень интересны, так как они не существуют достаточно долго, чтобы развились галактики и звезды, чтобы развилась хотя бы одна разумная жизнь. Несколько маленьких пузырей, однако, вырастут достаточно крупными, чтобы можно было избежать повторного коллапса. Они будут продолжать расширяться в размере и формировать пузыри, которые мы можем видеть. Они соответствуют вселенным, которые начинают расширение в размере, другими словами, вселенные находятся в состоянии инфляции.

while still of microscopic size. They represent possible alternative universes, but they are not of much interest since they do not last long enough to develop galaxies and stars, let alone intelligent life. A few of the little bubbles, however, will grow large enough so that they will be safe from recollapse. They will continue to expand at an ever-increasing rate and will form the bubbles of steam we are able to see. These correspond to universes that start off expanding at an ever-increasing rate—in other words, universes in a state of inflation.



**Мультивселенная.** Квантовые флуктуации приводят к созданию крошечных вселенных из ничего. Некоторые из них достигают критического размера, затем инфляционно расширяются, формируя галактики, звезды, и, по крайней мере в одном случае, существ как мы.

Как мы говорили, расширение, вызванное инфляцией, не будет полностью однородно. В совокупности событий существует только одно полностью однородное и регулярное событие, и ему выпадет редкая возможность, но многие другие события, которые немного нерегулярны также будут иметь эту возможность



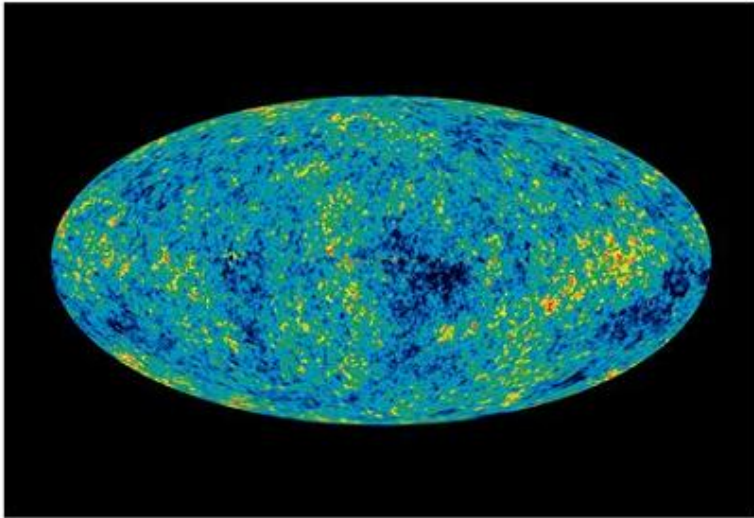
**Multiverse** Quantum fluctuations lead to the creation of tiny universes out of nothing. A few of these reach a critical size, then expand in an inflationary manner, forming galaxies, stars, and, in at least one case, beings like us.

As we said, the expansion caused by inflation would not be completely uniform. In the sum over histories, there is only one completely uniform and regular history, and it will have the greatest probability, but many other histories that are very slightly irregular will have probabilities that are



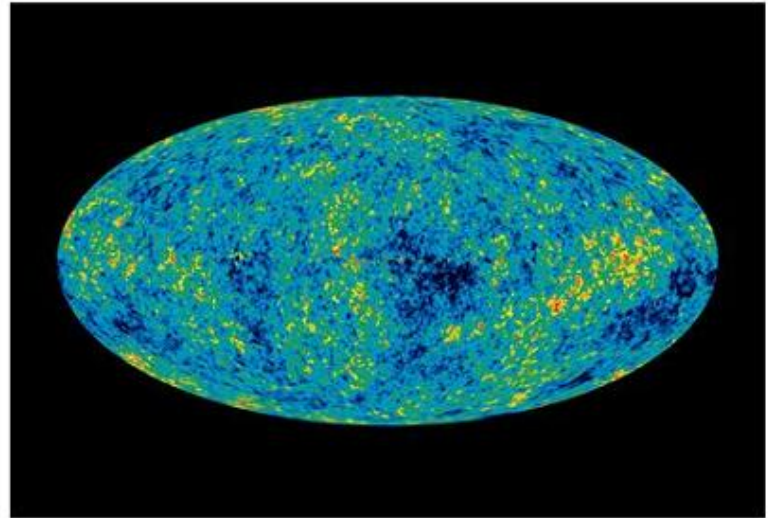
с высокими шансами. Вот почему инфляция предсказывает, что ранняя Вселенная, вероятно, слегка неоднородна, в соответствие с небольшими расхождениями в температуре, которое наблюдалось в реликтовом излучении. Удачей для нас является, что ранняя Вселенная была нерегулярной. Почему? Однородность хороша, если вы не хотите отделения сливок от вашего молока, но однородная Вселенная - скучная Вселенная. Неравномерности в ранней Вселенной важны, потому что, если некоторые области имели немногую большую плотность, чем другие, гравитационное притяжение этой большей плотности замедлило бы расширение этой области, относительно его окружения. Так как сила гравитации медленно собирает материю вместе, это может в конечном счете привести к ее коллапсу, с последующим формированием галактик и звезд, которые могут породить планеты и, по меньшей мере в одном случае, людей. Взгляните внимательно на карту микроволнового неба. Это копия всей структуры Вселенной. Мы - продукт квантовых флуктуаций (колебаний) в очень ранней Вселенной. Кто-то религиозный мог бы сказать, что Бог действительно играет в кости.

almost as high. That is why inflation predicts that the early universe is likely to be slightly nonuniform, corresponding to the small variations in the temperature that were observed in the CMBR. The irregularities in the early universe are lucky for us. Why? Homogeneity is good if you don't want cream separating out from your milk, but a uniform universe is a boring universe. The irregularities in the early universe are important because if some regions had a slightly higher density than others, the gravitational attraction of the extra density would slow the expansion of that region compared with its surroundings. As the force of gravity slowly draws matter together, it can eventually cause it to collapse to form galaxies and stars, which can lead to planets and, on at least one occasion, people. So look carefully at the map of the microwave sky. It is the blueprint for all the structure in the universe. We are the product of quantum fluctuations in the very early universe. If one were religious, one could say that God really does play dice.



**Микроволновой фон.** Эта картина неба создавалась 7 лет WMAP и опубликована в 2010 году. Она показывает температурные флуктуации, обозначенные разностью цветов, датированные 13.7 млрд. лет назад. Картина флуктуаций соответствует разности температур в тысячную долю градуса на стоградусной шкале. Все они были семенами, которые выросли, чтобы стать галактиками.

Эта идея приводит к взгляду на Вселенную, которая совершенно отлична от традиционного представления, и требует, чтобы мы определились, что мы думаем об истории Вселенной. Для того чтобы сделать предсказания в космологии, нам нужно вычислить вероятности различных состояний всей



**The Microwave Background** This picture of the sky was created from seven years of WMAP data released in 2010. It reveals temperature fluctuations—shown as color differences—dating back 13.7 billion years. The fluctuations pictured correspond to temperature differences of less than a thousandth of a degree on the Centigrade scale. Yet they were the seeds that grew to become the galaxies. Credit: NASA/WMAP Science Team.

This idea leads to a view of the universe that is profoundly different from the traditional concept, requiring us to adjust the way that we think about the history of the universe. In order to make predictions in cosmology, we need to calculate the probabilities of different states of the entire

Вселенной в настоящем времени. В физике обычно предполагают некоторое начальное состояние для системы и экстраполируют ее вперед во времени, используя релевантные математические уравнения. Взяв состояние системы в определенное время, стараются вычислить вероятность того, что система будет находиться в некотором отличном состоянии в будущем. Обычным предположением в космологии является то, что Вселенная имеет единственную определенную историю. Можно, используя законы физики, вычислить, как это состояние развивается со временем. В космологии мы называем этот подход "bottom-up" (снизу вверх). Но с тех пор, как мы принимаем в расчет квантовую природу Вселенной, выраженную совокупностью событий Фейнмана, вероятность, что Вселенная находится сейчас в определенном состоянии, увеличивается в соответствии с учетом всех событий, которые удовлетворяют не пограничному условию и конечному состоянию, вызывает сомнение. В космологии, другими словами, нельзя следовать за историей Вселенной снизу вверх, потому что предполагается, что есть единственное развитие событий, с четкой отправной точкой и эволюцией. Вместо этого нужно проследить события сверху вниз, назад от

universe at the present time. In physics one normally assumes some initial state for a system and evolves it forward in time employing the relevant mathematical equations. Given the state of a system at one time, one tries to calculate the probability that the system will be in some different state at a later time. The usual assumption in cosmology is that the universe has a single definite history. One can use the laws of physics to calculate how this history develops with time. We call this the "bottom-up" approach to cosmology. But since we must take into account the quantum nature of the universe as expressed by the Feynman sum over histories, the probability amplitude that the universe is now in a particular state is arrived at by adding up the contributions from all the histories that satisfy the no-boundary condition and end in the state in question. In cosmology, in other words, one shouldn't follow the history of the universe from the bottom up because that assumes there's a single history, with a well-defined starting point and evolution. Instead, one should trace the histories from the top down, backward from the

настоящего времени. Некоторые события будут более вероятными, чем другие, и эта совокупность, как правило, будет поглощена единственной историей, которая начинается с создания Вселенной и достигает высшей точки в состоянии рассмотрения. Но будут различные истории для различных возможных состояний Вселенной в настоящее время. Это приводит к радикально отличному представлению космологии, и связи между причиной и следствием. События, которые принадлежат совокупности Фейнмана, не имеют независимого существования, но зависят от того, что измеряется. Мы создаем историю нашим наблюдением, а не историю, создающую нас.

Идея, что у Вселенной нет уникальной независимой от наблюдателя истории, могло, кажется, находиться в противоречии с определенными фактами, которые мы знаем. Могла бы быть одна история, в которой Луна сделана из сыра Рокфора. Но мы заметили, что Луна не сделана из сыра, что является дурными вестями для мышей. Следовательно, истории, в которых Луна сделана из сыра, не соответствуют текущему состоянию нашей Вселенной, хотя они могли бы соответствовать другим. Это могло бы походить на научную фантастику, но это не так.

present time. Some histories will be more probable than others, and the sum will normally be dominated by a single history that starts with the creation of the universe and culminates in the state under consideration. But there will be different histories for different possible states of the universe at the present time. This leads to a radically different view of cosmology, and the relation between cause and effect. The histories that contribute to the Feynman sum don't have an independent existence, but depend on what is being measured. We create history by our observation, rather than history creating us.

The idea that the universe does not have a unique observer-independent history might seem to conflict with certain facts we know. There might be one history in which the moon is made of Roquefort cheese. But we have observed that the moon is not made of cheese, which is bad news for mice. Hence histories in which the moon is made of cheese do not contribute to the present state of our universe, though they might contribute to others. That might sound like science fiction, but it isn't.



Важным следствием нисходящего подхода является то, что естественные законы природы зависят от истории Вселенной. Многие ученые верят, что существует единая теория, которая объясняет эти законы так же как и физические константы природы, такие как масса электрона или размерность пространства-времени. Но нисходящая космология диктует, что естественные законы природы, различны для различных историй.

Рассмотрите естественную размерность Вселенной. Согласно М-теории, у пространства-времени есть десять пространственных измерений и одно измерение - время. Идея состоит в том, что семь пространственных измерений настолько сильно искривлены, что мы не замечаем их, оставаясь с иллюзией, что все, что существует, является тремя оставшимися масштабными измерениями, с которыми мы знакомы. Один из центральных нерешенных вопросов в М. теории это: Почему в нашей Вселенной, не существует больше масштабных измерений, и почему какие-то измерения свернуты?

Многим людям хотелось бы полагать, что есть некоторый механизм, который заставляет все кроме трех пространственных измерений сворачиваться спонтанно. Альтернативно, возможно в начале все измерения были маленькими,

An important implication of the top-down approach is that the apparent laws of nature depend on the history of the universe. Many scientists believe there exists a single theory that explains those laws as well as nature's physical constants, such as the mass of the electron or the dimensionality of space-time. But top-down cosmology dictates that the apparent laws of nature are different for different histories.

Consider the apparent dimension of the universe. According to M-theory, space-time has ten space dimensions and one time dimension. The idea is that seven of the space dimensions are curled up so small that we don't notice them, leaving us with the illusion that all that exist are the three remaining large dimensions we are familiar with. One of the central open questions in M-theory is: Why, in our universe, aren't there more large dimensions, and why are any dimensions curled up?

Many people would like to believe that there is some mechanism that causes all but three of the space dimensions to curl up spontaneously. Alternatively, maybe all dimensions started small,

но по некоторой понятной причине расширились три пространственных измерения, а остальные нет. Кажется, однако, что нет никакой динамической причины для Вселенной, чтобы быть четырехмерной. Вместо этого нисходящая космология предсказывает, что число масштабных пространственных измерений не установлено никаким принципом физики. Существует квантовая вероятность для каждого числа масштабных пространственных измерений от нуля до десяти. Совокупность Фейнмана допускает все из них для каждой возможной истории Вселенной, но наблюдение, что у нашей Вселенной есть три масштабных пространственных измерения, выбирает подкласс историй, у которых есть свойства, которые можно наблюдать. Другими словами, квантовая вероятность, что Вселенная имеет больше или меньше чем три масштабных пространственных измерений, является нерелевантной, потому что мы уже определили, что мы находимся во Вселенной с тремя масштабными пространственными измерениями. Пока вероятность для трех масштабных пространственных измерений больше нуля, не имеет значения, насколько она мала по сравнению с вероятностью для другого числа измерений. Это похоже на вероятность, что действующий папа римский

but for some understandable reason three space dimensions expanded and the rest did not. It seems, however, that there is no dynamical reason for the universe to appear four-dimensional. Instead, top-down cosmology predicts that the number of large space dimensions is not fixed by any principle of physics. There will be a quantum probability amplitude for every number of large space dimensions from zero to ten. The Feynman sum allows for all of these, for every possible history for the universe, but the observation that our universe has three large space dimensions selects out the subclass of histories that have the property that is being observed. In other words, the quantum probability that the universe has more or less than three large space dimensions is irrelevant because we have already determined that we are in a universe with three large space dimensions. So as long as the probability amplitude for three large space dimensions is not exactly zero, it doesn't matter how small it is compared with the probability amplitude for other numbers of dimensions. It would be like asking for the probability amplitude that the present pope

- китаец. Мы знаем, что он немец, даже при том, что вероятность, что он - китаец, выше, потому больше китайцев, чем немцев. Точно так же мы знаем, что наша Вселенная проявляет три измерения, и так, даже при том, что другое число измерений может иметь большую вероятность, нам интересна только историями с тремя.

Что относительно свернутых измерений? Вспомните, что в М-теории точная форма остальных свернутых измерений, внутреннее пространство, определяют и значения физических величин, таких как заряд электрона и природу взаимодействия между элементарными частицами, то есть, силы природы. Было бы ясно, если бы М-теория позволила только одно состояние для свернутых измерений, или возможно несколько или все, но одно из которых, возможно, было исключено некоторыми средствами, оставляя нас только с одной возможностью для наблюдаемых законов природы. Вместо этого есть вероятности для, возможно, целых 10 в степени 500 различных внутренних пространств, каждое из которых приводит к различным законам и значениям для физических констант.

is Chinese. We know that he is German, even though the probability that he is Chinese is higher because there are more Chinese than there are Germans. Similarly, we know our universe exhibits three large space dimensions, and so even though other numbers of large space dimensions may have a greater probability amplitude, we are interested only in histories with three.

What about the curled-up dimensions? Recall that in M-theory the precise shape of the remaining curled-up dimensions, the internal space, determines both the values of physical quantities such as the charge on the electron and the nature of the interactions between elementary particles, that is, the forces of nature. Things would have worked out neatly if M-theory had allowed just one shape for the curled dimensions, or perhaps a few, all but one of which might have been ruled out by some means, leaving us with just one possibility for the apparent laws of nature. Instead, there are probability amplitudes for perhaps as many as  $10^{500}$  different internal spaces, each leading to different laws and values for the physical constants.

Если Вы воссоздаете историю Вселенной снизу вверх, нет никакой причины, что Вселенная должна закончиться с внутренним пространством для взаимодействий частицы, которые мы фактически наблюдаем, стандартная модель (взаимодействие элементарных частицы). Но при нисходящем подходе мы признаем, что вселенные существуют со всеми возможными внутренними пространствами. В некоторых вселенных электроны имеют вес мячей для гольфа и сила гравитации сильнее, чем то магнетизм. У нас применяется стандартная модель, со всеми ее параметрами. Можно рассчитать амплитуду вероятности для внутреннего пространства, которая приводит к стандартной модели исходя из безграничных условий. Как с вероятностью того, что у Вселенной есть три масштабных пространственных измерения, не имеет значения, насколько мала эта амплитуда относительно других возможностей, потому что мы уже заметили, что стандартная модель описывает нашу Вселенную.

Теория, которую мы описываем в этой главе, может быть проверена на практике. В предшествующих примерах мы подчеркнули, что относительные амплитуды вероятности для радикально различных вселенных, таких как те, у которых число масштабных пространственных измерений различно, не имеют значения.

If one builds the history of the universe from the bottom up, there is no reason the universe should end up with the internal space for the particle interactions that we actually observe, the standard model (of elementary particle interactions). But in the top-down approach we accept that universes exist with all possible internal spaces. In some universes electrons have the weight of golf balls and the force of gravity is stronger than that of magnetism. In ours, the standard model, with all its parameters, applies. One can calculate the probability amplitude for the internal space that leads to the standard model on the basis of the no-boundary condition. As with the probability of there being a universe with three large space dimensions, it doesn't matter how small this amplitude is relative to other possibilities because we already observed that the standard model describes our universe.

The theory we describe in this chapter is testable. In the prior examples we emphasized that the relative probability amplitudes for radically different universes, such as those with a different number of large space dimensions, don't matter.



Относительные амплитуды вероятности для граничащих (то есть, подобных) вселенных, однако, важны. Безграничные условия подразумевают, что амплитуда вероятности наиболее высока для историй, в которых Вселенная начинается совершенно однородной. Амплитуда уменьшается для вселенных, которые более неравномерны. Это означает, что ранняя Вселенная была бы почти однородной, но с маленькими неравномерностями. Как мы отметили, мы можем наблюдать эти неравномерности в виде маленькие вариаций в микроволнах, исходящих из различных направлений в небе. Как обнаружилось, они полностью согласуются с главными требованиями теории инфляции; однако более точные измерения необходимы, чтобы полностью дифференцировать нисходящую теорию от других, и либо подтвердить ее, либо опровергнуть. Они могут хорошо быть выполнены в будущем с помощью спутников.

Сотни лет назад люди думали, что Земля уникальна и расположена в центре Вселенной. Сегодня мы знаем, что существуют сотни миллиардов звезд в нашей галактике, большой их процент с планетарными системами, и сотни миллиардов галактик. Результаты, описанные в этой

The relative probability amplitudes for neighboring (i.e., similar) universes, however, are important. The no-boundary condition implies that the probability amplitude is highest for histories in which the universe starts out completely smooth. The amplitude is reduced for universes that are more irregular. This means that the early universe would have been almost smooth, but with small irregularities. As we've noted, we can observe these irregularities as small variations in the microwaves coming from different directions in the sky. They have been found to agree exactly with the general demands of inflation theory; however, more precise measurements are needed to fully differentiate the top-down theory from others, and to either support or refute it. These may well be carried out by satellites in the future.

Hundreds of years ago people thought the earth was unique, and situated at the center of the universe. Today we know there are hundreds of billions of stars in our galaxy, a large percentage of them with planetary systems, and hundreds of billions of galaxies. The results described in this

главе, указывают, что сама наша Вселенная - также одна из многих, и что ее наблюдаемые законы не определены однозначно. Это должно быть неутешительно для тех, кто надеялся, что окончательная теория, теория всего, предскажет природу повседневной физики. Мы не можем предсказать дискретные особенности, такие как число масштабных пространственных измерений или внутренних пространств, определяющих физические параметры, которые мы наблюдаем (например, массу и заряд электрона и других элементарных частиц). Скорее мы используем эти цифры, чтобы выбрать, какие истории вносят вклад в сумму Фейнмана.

Мы, кажется, живем в критический момент в истории науки, в котором мы должны изменить свою концепцию задач и того, что делает физическую теорию приемлемой. Похоже, что фундаментальные параметры и даже форма наблюдаемых законов природы не обусловлены логическим или физическим принципом. Параметры могут принимать множество значений, а законы принимать любую форму, которая приводит к самосогласованной математической теории, и они действительно принимают различные значения и различные формы в различных вселенных. Это, вероятно, не удовлетворяет нашему человеческому желанию быть особенным или обнаружить аккуратный

chapter indicate that our universe itself is also one of many, and that its apparent laws are not uniquely determined. This must be disappointing for those who hoped that an ultimate theory, a theory of everything, would predict the nature of everyday physics. We cannot predict discrete features such as the number of large space dimensions or the internal space that determines the physical quantities we observe (e.g., the mass and charge of the electron and other elementary particles). Rather, we use those numbers to select which histories contribute to the Feynman sum.

We seem to be at a critical point in the history of science, in which we must alter our conception of goals and of what makes a physical theory acceptable. It appears that the fundamental numbers, and even the form, of the apparent laws of nature are not demanded by logic or physical principle. The parameters are free to take on many values and the laws to take on any form that leads to a self-consistent mathematical theory, and they do take on different values and different forms in different universes. That may not satisfy our human desire to be special or to discover a neat

пакет, содержащий все законы физики, но это, кажется, действительно особенность природы.

Похоже, есть бескрайний пейзаж возможных вселенных. Однако, как мы увидим в следующей главе, вселенные, в которых может существовать жизнь подобно нашей, редки. Мы живем в той, в которой жизнь возможна, но если бы Вселенная была всего лишь немного отлична, то существа, как мы, не могли бы существовать. Как можно расценивать эту точную настройку? Является ли это свидетельством того, что Вселенная все-таки была спроектирована благосклонным создателем? Или наука предлагает другое объяснение?

package to contain all the laws of physics, but it does seem to be the way of nature.

There seems to be a vast landscape of possible universes. However, as we'll see in the next chapter, universes in which life like us can exist are rare. We live in one in which life is possible, but if the universe were only slightly different, beings like us could not exist. What are we to make of this fine-tuning? Is it evidence that the universe, after all, was designed by a benevolent creator? Or does science offer another explanation?







7



НЕСОМНЕННОЕ ЧУДО

7



THE APPARENT MIRACLE

**К**ИТАЙЦЫ РАССКАЗЫВАЮТ О ВРЕМЕНИ в

годы правления династии Ся (2205 - 1782 до РХ), когда на нашем небе произошли внезапные изменения. На небе появилось несколько солнц. Люди на Земле очень страдали из-за жары, поэтому император приказал известному лучнику сбить лишние светила. Лучник был награжден снадобьем, которое делало бы его бессмертным, но его жена украла его. За это преступление ее изгнали на Луну.

Китайцы были правы, считая, что солнечная система с десятью солнцами не подходит для жизни человека. Теперь мы знаем, что, обеспечивая излишним теплом, любая солнечная система с несколькими солнцами вероятно никогда не позволит развиться жизни. Но причина все-таки совсем не так проста, как "обжигающее пекло" из китайской легенды. Фактически, планета может иметь подходящую температуру даже с несколькими солнцами, хотя бы на некоторое время. Но равномерное нагревание в течение продолжительного времени, ситуация, казалось бы, подходящая для жизни, не обещала бы ничего хорошего. Чтобы понять почему, давайте рассмотрим, что произойдет в системе простейшего типа с двумя солнцами, которая

**T**HE CHINESE TELL OF A TIME during the Hsia dynasty (ca. 2205—ca. 1782 BC) when our cosmic environment suddenly changed. Ten suns appeared in the sky. The people on earth suffered greatly from the heat, so the emperor ordered a famous archer to shoot down the extra suns. The archer was rewarded with a pill that had the power to make him immortal, but his wife stole it. For that offense she was banished to the moon.

The Chinese were right to think that a solar system with ten suns is not friendly to human life. Today we know that, while perhaps offering great tanning opportunities, any solar system with multiple suns would probably never allow life to develop. The reasons are not quite as simple as the searing heat imagined in the Chinese legend. In fact, a planet could experience a pleasant temperature while orbiting multiple stars, at least for a while. But uniform heating over long periods of time, a situation that seems necessary for life, would be unlikely. To understand why, let's look at what happens in the simplest type of multiple-star system, one with two suns, which is

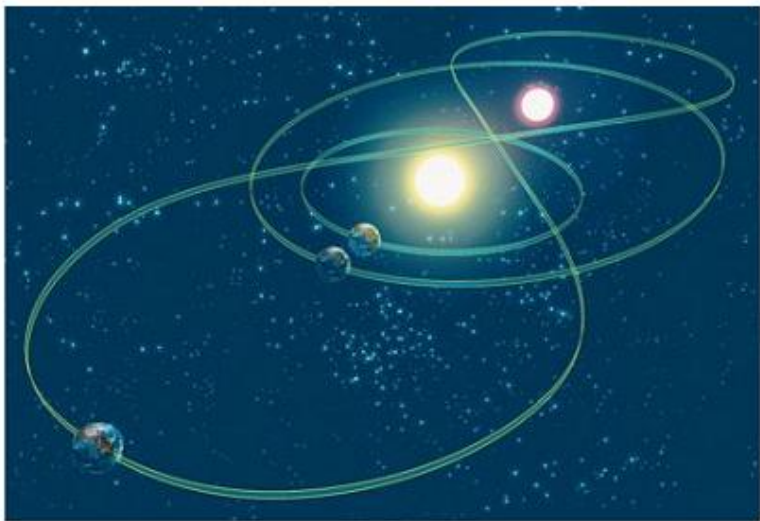
называется бинарной системой. Около половины всех звезд на небе входят в такие системы. Но даже простые бинарные системы могут иметь стабильные орбиты только определенного типа. На каждой из этих орбит, вероятно, будет момент, когда на планете будет либо слишком жарко, либо слишком холодно, чтобы поддерживать жизнь. Еще хуже ситуация для скопления большего количества звезд.

Наша солнечная система имеет другую "счастливую" особенность, без которой сложные жизненные формы никогда бы не смогли развиваться. Например, законы Ньютона разрешают орбитам планет иметь либо форму окружности, либо эллипса (Эллипсы являются сплюснутыми окружностями, шире по одной оси и уже по другой). Степень, с которой эллипсы сплюснуты, называется "эксцентриситет", значение которого лежит между нулем и единицей. Эксцентриситет, близкий к нулю, означает, что форма близка к окружности, а эксцентриситет, близкий к единице, означает, что форма очень сплюснута. Кеплер опроверг идею, что планеты не вращаются по идеальным окружностям, но орбита земли имеет эксцентриситет около 2 процентов, что означает почти идеальную окружность. Как оказывается, это - счастливое стечение обстоятельств.

called a binary system. About half of all stars in the sky are members of such systems. But even simple binary systems can maintain only certain kinds of stable orbits, of the type shown below. In each of these orbits there would likely be a time in which the planet would be either too hot or too cold to sustain life. The situation is even worse for clusters having many stars.

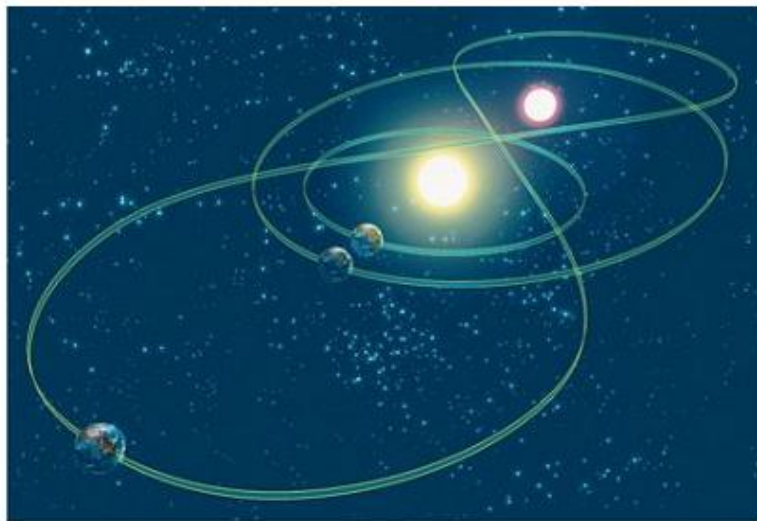
Our solar system has other "lucky" properties without which sophisticated life-forms might never have evolved. For example, Newton's laws allow for planetary orbits to be either circles or ellipses (ellipses are squashed circles, wider along one axis and narrower along another). The degree to which an ellipse is squashed is described by what is called its eccentricity, a number between zero and one. An eccentricity near zero means the figure resembles a circle, whereas an eccentricity near one means it is very flattened. Kepler was upset by the idea that planets don't move in perfect circles, but the earth's orbit has an eccentricity of only about 2 percent, which means it is nearly circular. As it turns out, that is a stroke of very good fortune.





**Двойные Орбиты.** Планеты, вращающиеся в системах двойных звезд, вероятно, будут иметь неприветливую погоду, в какие-то сезоны будет слишком жарко для жизни, в другие слишком холодно.

Погодные сезонные периоды на Земле определяются, в основном, наклоном земной оси вращения относительно плоскости своей орбиты вокруг Солнца. Зимой в северном полушарии, например, северный полюс отклонен от Солнца. Тот факт, что в это время Земля находится на самом близком расстоянии к Солнцу - 91.5 миллионов миль, в отличие от 94.5 миль

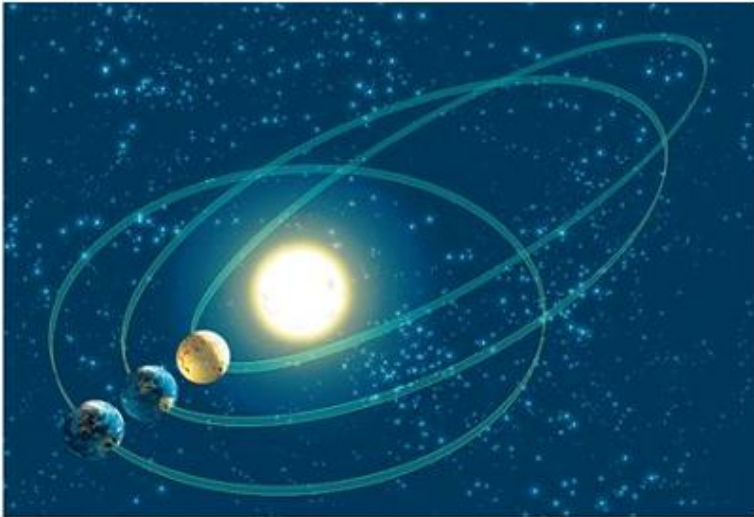


**Binary Orbits** Planets that orbit binary star systems will probably have inhospitable weather, in some seasons too hot for life, in others, too cold.

Seasonal weather patterns on earth are determined mainly by the tilt of the earth's axis of rotation relative to the plane of its orbit around the sun. During winter in the Northern Hemisphere, for example, the North Pole is tilted away from the sun. The fact that the earth is closest to the sun at that time—only 91.5 million miles away, as opposed to around 94.5 million miles away from

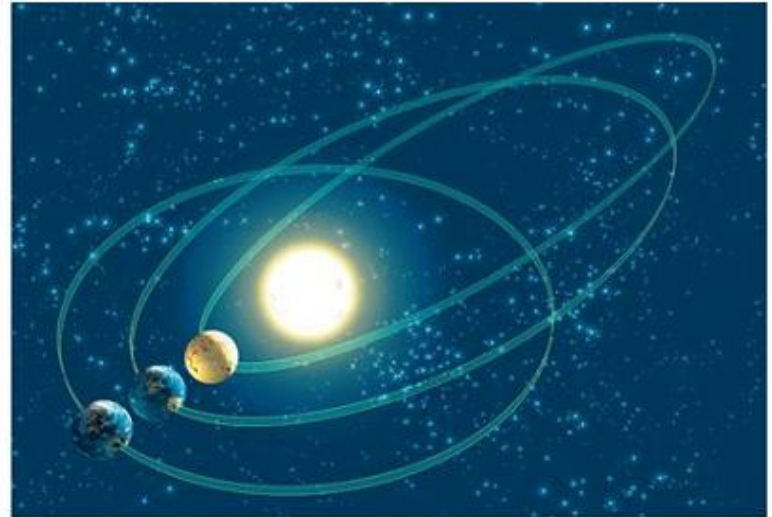
в начале июля - незначительно влияет на температуру, по сравнению с эффектом от наклона ее оси. Но для планет, имеющих большой эксцентриситет, различные расстояния от Солнца играют большую роль. На Меркурии, например, с 20% эксцентриситетом, температура на 200 градусов по Фаренгейту выше, когда планета приближается к Солнцу (перигелий), чем когда она находится на самом далеком расстоянии от Солнца (афелий). Фактически, если бы эксцентриситет земной орбиты приближался к единице, наши океаны закипели, когда мы достигали ближайшей точки к Солнцу, и замерзли, когда бы мы удалялись, не создавая приятных условий для отпуска ни зимой, ни летом. Большой орбитальный эксцентриситет не благоприятен для жизни, поэтому нам посчастливилось, что наша планета имеет эксцентриситет, близкий к нулю.

the sun in early July—has a negligible effect on the temperature compared with the effect of its tilt. But on planets with a large orbital eccentricity, the varying distance from the sun plays a much larger role. On Mercury, for example, with a 20 percent eccentricity, the temperature is over 200 degrees Fahrenheit warmer at the planet's closest approach to the sun (perihelion) than when it is at its farthest from the sun (aphelion). In fact, if the eccentricity of the earth's orbit were near one, our oceans would boil when we reached our nearest point to the sun, and freeze over when we reached our farthest, making neither winter nor summer vacations very pleasant. Large orbital eccentricities are not conducive to life, so we are fortunate to have a planet for which orbital eccentricity is near zero.



**Эксцентриситеты.** Эксцентриситет - мера близости эллипса к кругу. Круговые орбиты являются дружественными по отношению к жизни, в то время как очень удлиненные орбиты приводят к большим сезонным колебаниям температуры.

Также удача в соотношении массы нашего Солнца и расстоянии от него. Потому что масса Солнца определяет количество энергии, которое оно выделяет. Большие звезды имеют массу, больше солнечной, более чем в сотни раз, тогда как маленькие - в сотни раз меньше. И еще, предполагая, что дистанция между Землей и Солнцем остается такой же, а наше Солнце имело бы массу на 20% меньше или больше,



**Eccentricities** Eccentricity is a measure of how near an ellipse is to a circle. Circular orbits are friendly to life, while very elongated orbits result in large seasonal temperature fluctuations.

We are also lucky in the relationship of our sun's mass to our distance from it. That is because a star's mass determines the amount of energy it gives off. The largest stars have a mass about a hundred times that of our sun, while the smallest are about a hundred times less massive. And yet, assuming the earth-sun distance as a given, if our sun were just 20 percent less or more massive, the

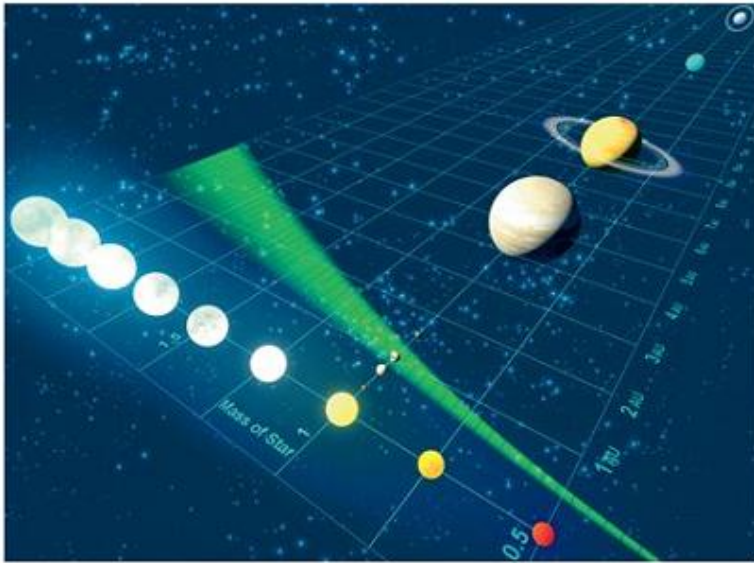
то на Земле было бы холоднее, чем сейчас на Марсе, или жарче, чем на Венере.

Обычно, рассматривая какую-либо звезду, ученые определяют пригодную для жизни зону, как узкое пространство вокруг звезды, в которой температура позволяет существовать воде в жидком состоянии. Пригодную для жизни зону иногда называют "зоной Златовласки", потому что условие, чтобы вода была жидкой, означает, что подобно Златовласке, развитие разумной жизни требует, чтобы температура планеты была "в самый раз". Пригодная для жизни зона в нашей солнечной системе, описанная выше, является очень узкой. К счастью для тех, кто наделен разумом, Земля угодила в нее!

earth would be colder than present-day Mars or hotter than present-day Venus.

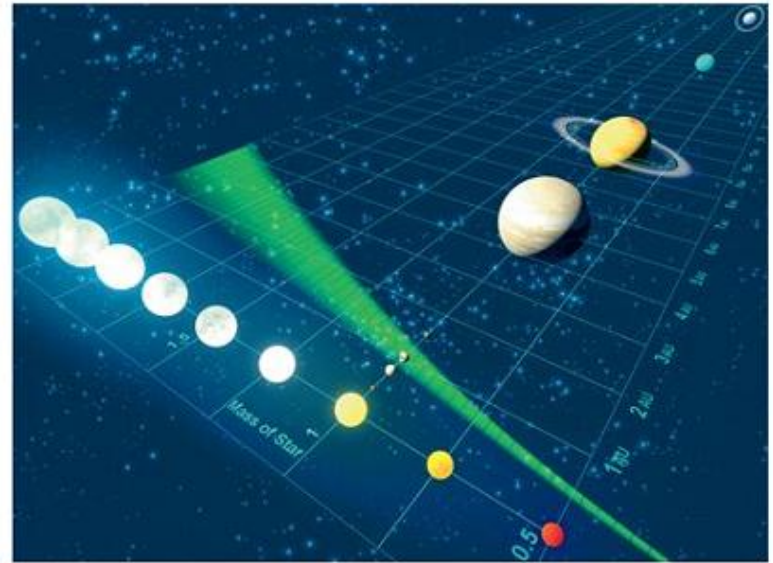
Traditionally, given any star, scientists define the habitable zone as the narrow region around the star in which temperatures are such that liquid water can exist. The habitable zone is sometimes called the “Goldilocks zone,” because the requirement that liquid water exist means that, like Goldilocks, the development of intelligent life requires that planetary temperatures be “just right.” The habitable zone in our solar system, pictured above, is tiny. Fortunately for those of us who are intelligent life-forms, the earth fell within it!





**Зона Златовласки.** Если бы Златовласка проверяла планеты, то обнаружила бы, что только находящиеся в зеленой зоне пригодны для жизни. Желтая звезда представляет наше собственное Солнце. Звезды белее – больше и жарче, звезды краснее – меньше и холоднее. Планеты, расположенные ближе к своим Солнцам, чем зеленая зона, были бы слишком горячи для жизни, а расположенные дальше – слишком холодны. Размер гостеприимной зоны меньше для более прохладных звезд.

Ньютон считал, что наша удивительная, пригодная для жизни солнечная система не "возникла из хаоса с помощью законов природы". Напротив он настаивал, что порядок во Вселенной был "создан Богом и поддерживается им до этих дней в том же состоянии



**Goldilocks Zone** If Goldilocks were sampling planets, she'd find only those within the green zone suitable for life. The yellow star represents our own sun. The whiter stars are larger and hotter, the redder ones smaller and cooler. Planets closer to their suns than the green zone would be too hot for life, and planets beyond it too cold. The size of the hospitable zone is smaller for cooler stars.

Newton believed that our strangely habitable solar system did not "arise out of chaos by the mere laws of nature." Instead, he maintained, the order in the universe was "created by God at first and conserved by him to this Day in the same state

и тех же условиях". Легко понять, почему он так думал. Много невероятных совпадений, которые произошли, чтобы дать нам существование, и дружественное человечеству устройство мира, действительно приводят в замешательство, если бы только наша солнечная система была единственной во Вселенной. Но в 1992 году поступили первые подтвержденные наблюдения за орбитами планет других звезд, как наше Солнце. Теперь мы знаем сотни таких планет, и можно предположить, что существует множество других среди многих миллиардов звезд в нашей Вселенной. Случайное совпадение наших планетарных условий - единственное Солнце, удачная комбинация расстояния между Землей и Солнцем, а также солнечная масса - гораздо менее удивительно, чем то, что Земля была аккуратно устроена как раз для благоприятного существования человечества. Существует много разных планет. На некоторых - минимум на одной - есть жизнь. Понятно, что когда живые существа на планете, которая поддерживает жизнь, изучают мир вокруг себя, они обязаны признать, что окружающая их среда соответствует условиям для их существования. Это позволяет преобразовать последнее утверждение в научный принцип: Именно наше существование устанавливает

and condition." It is easy to understand why one might think that. The many improbable occurrences that conspired to enable our existence, and our world's human-friendly design, would indeed be puzzling if ours were the only solar system in the universe. But in 1992 came the first confirmed observation of a planet orbiting a star other than our sun. We now know of hundreds of such planets, and few doubt that there exist countless others among the many billions of stars in our universe. That makes the coincidences of our planetary conditions—the single sun, the lucky combination of earth-sun distance and solar mass—far less remarkable, and far less compelling as evidence that the earth was carefully designed just to please us human beings. Planets of all sorts exist. Some—or at least one—support life. Obviously, when the beings on a planet that supports life examine the world around them, they are bound to find that their environment satisfies the conditions they require to exist.

It is possible to turn that last statement into a scientific principle: Our very existence imposes

правила, определяющие, где и когда возможно наблюдать мир. Сам факт нашего существования вводит ограничения на условия окружающей среды, в которой мы находимся. Этот принцип называется слабым антропным принципом (обусловленный влиянием человека). (Мы скоро увидим, почему применено прилагательное "слабый"). Вместо термина "антропный принцип" лучше было бы использовать "принцип отбора", потому что этот принцип указывает на то, как наши знания о нашем существовании устанавливают правила, которые отбирают из всех возможных сред, только те среды, условия на которых позволяют существовать жизни.

Хотя это может звучать несколько философски, но слабый антропный принцип может быть использован, чтобы делать научные прогнозы. Например, сколько лет Вселенной? Как мы вскоре увидим, для нашего существования Вселенная должна такие элементы как углерод, который производится при горении элементов внутри звезд. Углерод должен быть потом распространен в пространстве в результате вспышки сверхновой звезды, и, в конечном итоге, стать частью планеты в во вновь созданной солнечной системе. В 1961 году физик Роберт Дик показал, что такие процессы занимают свыше 10 миллиардов

rules determining from where and at what time it is possible for us to observe the universe. That is, the fact of our being restricts the characteristics of the kind of environment in which we find ourselves. That principle is called the weak anthropic principle. (We'll see shortly why the adjective "weak" is attached.) A better term than "anthropic principle" would have been "selection principle," because the principle refers to how our own knowledge of our existence imposes rules that select, out of all the possible environments, only those environments with the characteristics that allow life.

Though it may sound like philosophy, the weak anthropic principle can be used to make scientific predictions. For example, how old is the universe? As we'll soon see, for us to exist the universe must contain elements such as carbon, which are produced by cooking lighter elements inside stars. The carbon must then be scattered through space in a supernova explosion, and eventually condense as part of a planet in a new-generation solar system. In 1961 physicist Robert Dicke argued that the process takes about 10 billion



лет, поэтому наше существование означает, что наша Вселенная должна быть минимум взрослее. С другой стороны, Вселенная не может быть много старше 10 миллиардов лет, ведь в далеком будущем все топливо звезд будет выработано, а нам для существования нужны горячие звезды. Следовательно, нашей Вселенной около 10 миллиардов лет. Это не достаточно точный прогноз, но это похоже на правду - в соответствие с последними данными Большой Взрыв произошел около 13.7 миллиардов лет назад.

Как и в случае с возрастом Вселенной, антропные прогнозы дают, обычно, ряд значений для некоторой физической величины точнее, чем ее вычисление. Поэтому наше существование, в то время как это не могло бы потребовать особой ценности некоторого физического параметра, часто зависит от таких параметров, не изменяющихся слишком от того значения, которое мы фактически имеем. Мы, к тому же, предполагаем, что существующие условия в нашем мире являются типичными для условий ограниченных антропным принципом. Например, если только ограниченные орбитальные эксцентриситеты, скажем, между нулем и 0.5, позволят развиваться жизни, то эксцентриситет 0.1 нас не удивит, потому что среди всех планет во Вселенной,

years, so our being here means that the universe must be at least that old. On the other hand, the universe cannot be much older than 10 billion years, since in the far future all the fuel for stars will have been used up, and we require hot stars for our sustenance. Hence the universe must be about 10 billion years old. That is not an extremely precise prediction, but it is true—according to current data the big bang occurred about 13.7 billion years ago.

As was the case with the age of the universe, anthropic predictions usually produce a range of values for a given physical parameter rather than pinpointing it precisely. That's because our existence, while it might not require a particular value of some physical parameter, often is dependent on such parameters not varying too far from where we actually find them. We furthermore expect that the actual conditions in our world are typical within the anthropically allowed range. For example, if only modest orbital eccentricities, say between zero and 0.5, will allow life, then an eccentricity of 0.1 should not surprise us because among all the planets in the universe, a



вероятно, значительный процент составляют орбиты с таким маленьким эксцентриситетом. Но если бы оказалось, что Земля переместилась на орбиту с почти совершенной окружностью, с эксцентриситетом, скажем, 0.000000000001, это сделало бы Землю действительно исключительной планетой, и заставило бы нас найти объяснение, почему мы живем в таком уникальном доме. Эта идея иногда называется принципом посредственности.

Счастлирое стечение обстоятельств в отношении формы планетарных орбит, массы Солнца и так далее называется энвайронментальным (относящийся к окружающей среде), потому что они возникают из интуитивной прозорливости нашей окружающей среды, а не из удачных законов природы. Возраст Вселенной также является энвайронментальным фактором, поскольку существует раннее и позднее время в истории Вселенной, но мы должны жить именно в этой эре, потому что именно эта эра является подходящей для жизни. Энвайронментальное стечение обстоятельств легко понять, поскольку наше существующее окружение является только одним среди многих, которые существуют во Вселенной, и мы, очевидно, должны существовать именно в том месте, поскольку в нем поддерживается жизнь.

Слабый антропный принцип не самый дискуссионный. Но существует более сильная форма, которую мы

fair percentage probably have orbits with eccentricities that small. But if it turned out that the earth moved in a near-perfect circle, with eccentricity, say, of 0.000000000001, that would make the earth a very special planet indeed, and motivate us to try to explain why we find ourselves living in such an anomalous home. That idea is sometimes called the principle of mediocrity.

The lucky coincidences pertaining to the shape of planetary orbits, the mass of the sun, and so on are called environmental because they arise from the serendipity of our surroundings and not from a fluke in the fundamental laws of nature. The age of the universe is also an environmental factor, since there are an earlier and a later time in the history of the universe, but we must live in this era because it is the only era conducive to life. Environmental coincidences are easy to understand because ours is only one cosmic habitat among many that exist in the universe, and we obviously must exist in a habitat that supports life.

The weak anthropic principle is not very controversial. But there is a stronger form that we

будем здесь аргументировать, хотя к ней с пренебрежением относятся некоторые физики. Сильный антропный принцип предполагает, что сам факт нашего существования накладывает ограничения не только на наши окружающую среду, но и на возможную форму и суть законов природы как таковых. Эта идея возникла, потому что эти законы являются не только специфическими характеристиками нашей солнечной системы, которые удивительно подходят для возникновения человеческой жизни, но также и характеристиками всей нашей Вселенной, и это является гораздо более трудным для понимания.

История о том, как первичная Вселенная, состоящая из водорода, гелия и небольшого количества лития эволюционировала во Вселенную, давшую пристанище как минимум одному миру с разумной жизнью, подобному нашему, является историей во многих главах. Как мы упоминали ранее, силы природы должны были быть такими, чтобы тяжелые элементы - особенно углерод - могли быть сформированы из первичных элементов, и оставаться стабильными, как минимум, миллиарды лет. Из этих тяжелых элементов образовались "очаги", которые мы называем звездами, так что эти силы в начале должны были сформировать звезды и галактики. Они произошли из крохотных однородных частиц в ранней Вселенной, которая была почти целиком однообразной,

will argue for here, although it is regarded with disdain among some physicists. The strong anthropic principle suggests that the fact that we exist imposes constraints not just on our *environment* but on the possible *form and content of the laws of nature* themselves. The idea arose because it is not only the peculiar characteristics of our solar system that seem oddly conducive to the development of human life but also the characteristics of our entire universe, and that is much more difficult to explain.

The tale of how the primordial universe of hydrogen, helium, and a bit of lithium evolved to a universe harboring at least one world with intelligent life like us is a tale of many chapters. As we mentioned earlier, the forces of nature had to be such that heavier elements—especially carbon—could be produced from the primordial elements, and remain stable for at least billions of years. Those heavy elements were formed in the furnaces we call stars, so the forces first had to allow stars and galaxies to form. Those grew from the seeds of tiny inhomogeneities in the early universe, which was almost completely uniform

благодаря все-таки имеющейся плотности: примерно 1 часть на 100000. Однако, существование звезд, и существование внутри этих звезд элементов, из которых мы состоим, не является достаточным условием. Активность звезд должна быть такой, что некоторые, в конечном счете, должны были взорваться, и более того, взорваться именно таким образом, чтобы выпустить тяжелые элементы в космос. К тому же, законы природы должны указывать на то, что эти элементы могли бы объединиться в новую популяцию звезд, которые, окруженные планетами, вновь бы формировали тяжелые элементы. Эти последовательные определенные события должны были случиться, также как определенные события должны были произойти на ранней Земле, что позволить развиваться нашей жизни. Но в отношении событий, приведших к эволюции Вселенной, такое развитие управлялось балансом сил природы, взаимодействие которых и привело к нашему существованию.

Одним из первых, кто пришел к этому, был Фред Хойл, в 1950 году. Он считал, что все химические элементы изначально были сформированы

but thankfully contained density variations of about 1 part in 100,000. However, the existence of stars, and the existence inside those stars of the elements we are made of, is not enough. The dynamics of the stars had to be such that some would eventually explode, and, moreover, explode precisely in a way that could disburse the heavier elements through space. In addition, the laws of nature had to dictate that those remnants could recondense into a new generation of stars, these surrounded by planets incorporating the newly formed heavy elements. Just as certain events on early earth had to occur in order to allow us to develop, so too was each link of this chain necessary for our existence. But in the case of the events resulting in the evolution of the universe, such developments were governed by the balance of the fundamental forces of nature, and it is those whose interplay had to be just right in order for us to exist.

One of the first to recognize that this might involve a good measure of serendipity was Fred Hoyle, in the 1950s. Hoyle believed that all chemical elements had originally been formed

из водорода, который, как он предполагал, являлся истинной первичной субстанцией. Водород имеет простейшее атомное ядро, состоящее только либо из одного протона, либо в комбинации с одним или двумя нейтронами. (Различные формы водорода, или любое ядро, имеющее то же количество протонов, но различное количество нейтронов называются изотопами). Теперь мы знаем, что гелий и литий, атомы, чьи ядра состоят из двух и трех протонов, были также изначально синтезированы, в гораздо меньшем количестве, когда возраст Вселенной был всего 200 секунд. Жизнь, с другой стороны, зависит от более сложных элементов. Углерод, наиболее важный из них, является основой для всей органической химии.

Хотя кто-то может считать "живыми" организмами умные компьютеры, состоящие из других элементов, таких как кремний, сомнительно, чтобы жизнь могла бы самопроизвольно развиться в отсутствие углерода. Причины для этого формальны, но нужно учитывать то уникальное свойство, которое позволяет углероду соединяться с другими элементами. Двуокись углерода, например, является газом при комнатной температуре, и биологически очень полезна. Так как

from hydrogen, which he felt was the true primordial substance. Hydrogen has the simplest atomic nucleus, consisting of just one proton, either alone or in combination with one or two neutrons. (Different forms of hydrogen, or any nucleus, having the same number of protons but different numbers of neutrons are called isotopes.) Today we know that helium and lithium, atoms whose nuclei contain two and three protons, were also primordially synthesized, in much smaller amounts, when the universe was about 200 seconds old. Life, on the other hand, depends on more complex elements. Carbon is the most important of these, the basis for all organic chemistry.

Though one might imagine "living" organisms such as intelligent computers produced from other elements, such as silicon, it is doubtful that life could have *spontaneously* evolved in the absence of carbon. The reasons for that are technical but have to do with the unique manner in which carbon bonds with other elements. Carbon dioxide, for example, is gaseous at room temperature, and biologically very useful. Since



кремний находится прямо под углеродом в периодической таблице, он имеет похожие химические свойства. Однако, двуокись кремния, кварц, был бы более полезен в коллекции камней, чем в организме человека. (Здесь игра слов кремний - силикон (англ.), перев.). Возможно, что жизненные формы могли бы эволюционировать так, чтобы кремний считался деликатесом, а плескались бы мы в бассейне с нашатырным спиртом. Даже такой тип экзотической жизни не мог бы эволюционировать из первоначальных элементов, которые могут формировать только две стабильные структуры, гидрид лития, который является прочным кристаллическим бесцветным веществом, и водородный газ, ни один из них не способен не только воспроизводиться, но и даже "любить". И, фактически получается, что мы являемся углеродной формой жизни, и это ставит вопрос о том, как углерод, чье ядро содержит шесть протонов, и другие тяжелые элементы были созданы в наших телах.

Первый шаг произошел, когда старые звезды начали аккумулировать гелий, который производится, когда два ядра водорода сталкиваются и соединяются друг с другом. Это слияние является причиной того, как звезды создают энергию, которая нас греет. Два атома гелия при соединении образуют бериллий - атом, чье ядро содержит четыре протона. После того как образовался бериллий, он может,

silicon is the element directly below carbon on the periodic table, it has similar chemical properties. However, silicon dioxide, quartz, is far more useful in a rock collection than in an organism's lungs. Still, perhaps life-forms could evolve that feast on silicon and rhythmically twirl their tails in pools of liquid ammonia. Even that type of exotic life could not evolve from just the primordial elements, for those elements can form only two stable compounds, lithium hydride, which is a colorless crystalline solid, and hydrogen gas, neither of them a compound likely to reproduce or even to fall in love. Also, the fact remains that *we* are a carbon life-form, and that raises the issue of how carbon, whose nucleus contains six protons, and the other heavy elements in our bodies were created.

The first step occurs when older stars start to accumulate helium, which is produced when two hydrogen nuclei collide and fuse with each other. This fusion is how stars create the energy that warms us. Two helium atoms can in turn collide to form beryllium, an atom whose nucleus contains four protons. Once beryllium is formed, it could in

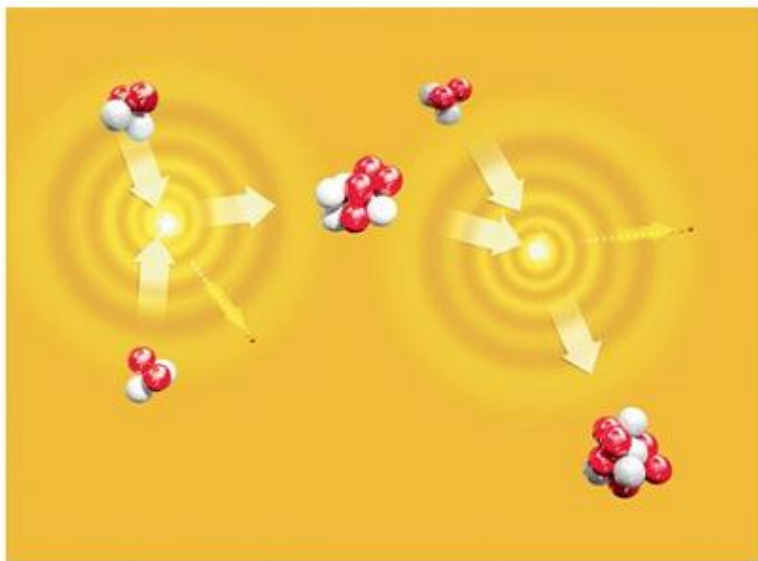
в принципе, соединится с трех ядерным гелием, формируя углерод. Но этого не происходит, потому что изотоп бериллия, который образовался, почти мгновенно распадается, вновь образуя ядро гелия.

Ситуация меняется, когда звезда начинает испускать водород.

Когда это происходит, ядро звезды коллапсирует, до тех пор, пока его температура не достигает примерно 100 миллионов градусов по Кельвину. При этих условиях, ядра сталкиваются друг с другом так часто, что некоторые бериллиевые ядра соединяются с ядрами гелия прежде, чем они должны были распасться. Бериллий затем может соединиться с гелием, чтобы образовать углерод, который стабилен. Но этому углероду еще очень далеко до формирования сложных соединений химических компонентов, которые могли бы восхищаться бокалами из Бордо, показывать фокусы с пламенем, выходящим из пальца, или задавать вопросы о Вселенной. Для существования жизни, такой как человеческая, углерод должен быть перенесен из недр звезды в подходящую среду. Это, как мы говорили, происходит, когда звезда в конце своего жизненного цикла взрывается, превращаясь в суперновую, изгоняя углерод и другие тяжелые элементы, из которых позже образуется планета.

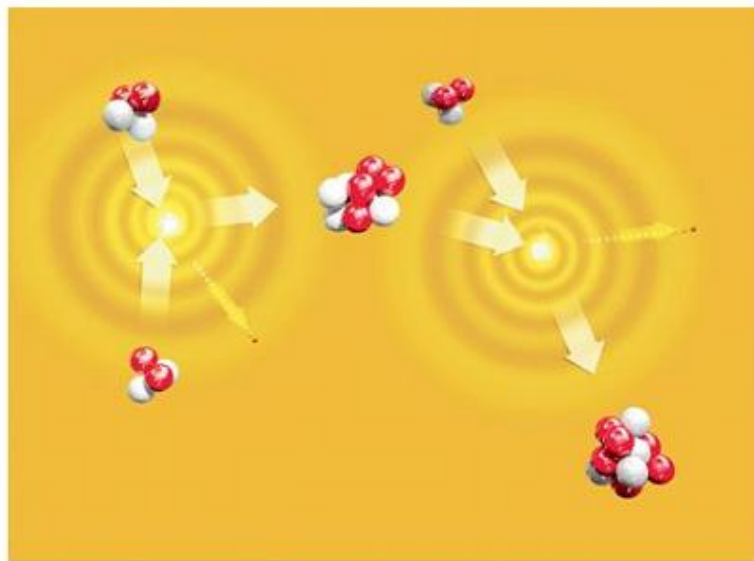
principle fuse with a third helium nucleus to form carbon. But that doesn't happen, because the isotope of beryllium that is formed decays almost immediately back into helium nuclei.

The situation changes when a star starts to run out of hydrogen. When that happens the star's core collapses until its central temperature rises to about 100 million degrees Kelvin. Under those conditions, nuclei encounter each other so often that some beryllium nuclei collide with a helium nucleus before they have had a chance to decay. Beryllium can then fuse with helium to form an isotope of carbon that is stable. But that carbon is still a long way from forming ordered aggregates of chemical compounds of the type that can enjoy a glass of Bordeaux, juggle flaming bowling pins, or ask questions about the universe. For beings such as humans to exist, the carbon must be moved from inside the star to friendlier neighborhoods. That, as we've said, is accomplished when the star, at the end of its life cycle, explodes as a supernova, expelling carbon and other heavy elements that later condense into a planet.



**Тройной Альфа-Процесс.** Образование углерода в звездах в результате соединения трех ядер гелия, событие, которое было бы очень маловероятно, если бы не специальное свойство законов ядерной физики.

Этот процесс образования углерода называется тройным альфа-процессом, потому что "альфа-частица" - другое название для ядра изотопа гелия, участвующего в реакции, и потому что этот процесс требует, чтобы три из них (в конечном счете) соединились вместе. Обычно физики полагают, что время образования углерода с помощью тройного альфа-процесса должно быть



**Triple Alpha Process** Carbon is made inside stars from the collisions of three helium nuclei, an event that would be very unlikely if not for a special property of the laws of nuclear physics.

This process of carbon creation is called the triple alpha process because "alpha particle" is another name for the nucleus of the isotope of helium involved, and because the process requires that three of them (eventually) fuse together. The usual physics predicts that the rate of carbon production via the triple alpha process ought to be

очень маленьким. Обращая на это внимание, в 1952 году Хойл предположил, что сумма энергий ядер бериллия и гелия должны почти совпадать с энергией определенного квантового состояния образованного изотопа углерода, что получило название резонанса, который значительно увеличивает время ядерной реакции. В то же время еще не были известны значения такой энергии, но основываясь на предположении Хойла, Уильям Фаулер из Калифорнийского технологического института искал и нашел его, подтвердив точку зрения Хойла на то, как образуются сложные ядра.

Хойл писал: "Я не верю, что любой ученый, исследовавший свидетельство, оказался бы не в состоянии сделать вывод, что законы ядерной физики были преднамеренно спланированы с учетом последствий, которые они производят внутри звезд". В то время еще никто не разбирался достаточно хорошо в ядерной физике, что бы понять ту степень прозорливости, которая привела к созданию этих точных физических законов. Но, изучая обоснованность сильного антропного принципа, в последние годы физики начали сами себе задавать вопрос: какая бы была Вселенная, если бы законы природы были другими? Сегодня можем создавать компьютерные модели, которые показывают нам, как

quite small. Noting this, in 1952 Hoyle predicted that the sum of the energies of a beryllium nucleus and a helium nucleus must be almost exactly the energy of a certain quantum state of the isotope of carbon formed, a situation called a resonance, which greatly increases the rate of a nuclear reaction. At the time, no such energy level was known, but based on Hoyle's suggestion, William Fowler at Caltech sought and found it, providing important support for Hoyle's views on how complex nuclei were created.

Hoyle wrote, "I do not believe that any scientist who examined the evidence would fail to draw the inference that the laws of nuclear physics have been deliberately designed with regard to the consequences they produce inside the stars." At the time no one knew enough nuclear physics to understand the magnitude of the serendipity that resulted in these exact physical laws. But in investigating the validity of the strong anthropic principle, in recent years physicists began asking themselves what the universe would have been like if the laws of nature were different. Today we can create computer models that tell us how the



скорость тройной альфа-реакции зависит от стабильности фундаментальных сил природы. Такие вычисления показывают, что изменение на 0.5 % значения сильного ядерного взаимодействия, или на 4 % электрических сил, разрушит почти весь углерод и весь кислород на каждой звезде, а следовательно и возможность жизни, в том виде, которую мы имеем. Измените эти правила нашей Вселенной хоть на немного, и условия для нашего существования исчезнут.

Анализируя модель Вселенной, мы понимаем, когда теория физики меняется некоторым образом, можно понять эффект от изменения физических законов в методическом плане. Оказывается, что это не только величины сильного ядерного и электромагнитного взаимодействия, которые призваны упорядочить наше существование. Большинство фундаментальных констант в нашей теории являются точно отрегулированными, в том смысле, что если бы они были изменены на небольшое значение, Вселенная была бы совершенно другой, и во многих случаях, непригодной к возникновению жизни. Например, если бы другое ядерное взаимодействие - слабое взаимодействие - было бы еще слабее, в ранней Вселенной весь водород превратился бы в

rate of the triple alpha reaction depends upon the strength of the fundamental forces of nature. Such calculations show that a change of as little as 0.5 percent in the strength of the strong nuclear force, or 4 percent in the electric force, would destroy either nearly all carbon or all oxygen in every star, and hence the possibility of life as we know it. Change those rules of our universe just a bit, and the conditions for our existence disappear!

By examining the model universes we generate when the theories of physics are altered in certain ways, one can study the effect of changes to physical law in a methodical manner. It turns out that it is not only the strengths of the strong nuclear force and the electromagnetic force that are made to order for our existence. Most of the fundamental constants in our theories appear fine-tuned in the sense that if they were altered by only modest amounts, the universe would be qualitatively different, and in many cases unsuitable for the development of life. For example, if the other nuclear force, the weak force, were much weaker, in the early universe all the hydrogen in the cosmos would have turned to

гелий, и, следовательно, не существовало бы нормальных звезд; Если бы они были наоборот сильнее, взрывы суперновых не выбрасывали бы их в пространство, и, следовательно, не произошло бы образования планет из тяжелых элементов, требующихся для зарождения жизни. Если бы протоны были на 0.2 % тяжелее, они распались бы на нейтроны, дестабилизируя атомы. Если бы сумма масс тех типов кварков, из которых состоят протоны, была бы уменьшена на 10 %, то было бы намного меньше стабильных атомных ядер, из которых мы состоим; суммарная масса кварков кажется примерно оптимизирована для существования большого количества стабильных ядер.

Если допустить, что несколько сотен миллионов лет на стабильной орбите необходимо, чтобы развиться жизни на планете, число пространственных измерений также является фиксированным. Потому, что в соответствие с законом гравитации, только в трехмерном измерении возможны стабильные эллиптические орбиты. Круговые орбиты возможны в других измерениях, но они, как предчувствовал Ньютон, нестабильны. Если в трехмерном измерении любое возмущение, такое как столкновение с другой планетой, выведет планету из круговой орбиты поведет ее по

helium, and hence there would be no normal stars; if it were much stronger, exploding supernovas would not eject their outer envelopes, and hence would fail to seed interstellar space with the heavy elements planets require to foster life. If protons were 0.2 percent heavier, they would decay into neutrons, destabilizing atoms. If the sum of the masses of the types of quark that make up a proton were changed by as little as 10 percent, there would be far fewer of the stable atomic nuclei of which we are made; in fact, the summed quark masses seem roughly optimized for the existence of the largest number of stable nuclei.

If one assumes that a few hundred million years in stable orbit are necessary for planetary life to evolve, the number of space dimensions is also fixed by our existence. That is because, according to the laws of gravity, it is only in three dimensions that stable elliptical orbits are possible. Circular orbits are possible in other dimensions, but those, as Newton feared, are unstable. In any but three dimensions even a small disturbance, such as that produced by the pull of the other planets, would send a planet off its circular orbit and cause it to

спирали либо к Солнцу, либо от него, и тогда мы либо сгорим, либо замерзнем. А в более чем трехмерное измерения гравитационные силы между двумя телами будут уменьшаться более быстро, чем это происходит в трехмерном. В трехмерном измерении гравитационные силы уменьшаются до  $1/4$  от своего значения, если расстояние увеличивается вдвое. В четырехмерном измерении они уменьшаются до  $1/8$ , в пятимерном - до  $1/10$ , и т.д. В результате, в более чем трехмерное измерения Солнце не могло бы существовать в стабильном состоянии, со своим внутренним давлением, связанным силой гравитации. Оно либо разорвалось на куски или сжалось в черную дыру, что повлекло бы к нашей гибели. Применительно к атомам, электронные силы вели бы себя точно так же, как и гравитационные. Это означает, что электроны в атомах будут либо удаляться от ядра, либо приближаться к нему. В любом случае, атомы не были бы такими, какими мы их знаем.

Вероятность появления сложной структуры, способной поддерживать разумную жизнь, была очень незначительна. Законы природы формируют систему, которая очень точно отрегулирована, и только допускаются самые незначительные изменения в физических законах, которые не повлекут за собой разрушение возможности развития жизни, какую мы

spiral either into or away from the sun, so we would either burn up or freeze. Also, in more than three dimensions the gravitational force between two bodies would decrease more rapidly than it does in three dimensions. In three dimensions the gravitational force drops to  $1/4$  of its value if one doubles the distance. In four dimensions it would drop to  $1/8$ , in five dimensions it would drop to  $1/10$ , and so on. As a result, in more than three dimensions the sun would not be able to exist in a stable state with its internal pressure balancing the pull of gravity. It would either fall apart or collapse to form a black hole, either of which could ruin your day. On the atomic scale, the electrical forces would behave in the same way as gravitational forces. That means the electrons in atoms would either escape or spiral into the nucleus. In neither case would atoms as we know them be possible.

The emergence of the complex structures capable of supporting intelligent observers seems to be very fragile. The laws of nature form a system that is extremely fine-tuned, and very little in physical law can be altered without destroying the possibility of the development of life as we

имеем. Не было бы ряда первоначальных совпадений в точных деталях физических законов, не было бы и человечества или похожих форм жизни.

Большинство впечатляющих выверенных совпадений включены в так называемую космологическую константу уравнения общей теории относительности Эйнштейна. Как мы говорили, в 1915 году, когда он сформулировал теорию, Эйнштейн считал, что Вселенная статична, т.е. ни расширяющейся, ни сжимающейся. Так как любая материя притягивает другую материю, он включил в свою теорию новую антигравитационную силу, чтобы запретить Вселенной коллапсировать самой в себя. Эта сила, отличная от других сил, не была получена из каких-либо частных источников, но была встроена именно в систему пространства-времени. Космологическая константа указывает на величину этой силы.

Но когда было открыто, что Вселенная не статична, Эйнштейн исключил космологическую константу из своей теории и назвал ее величайшей своей ошибкой. Но в 1998 году наблюдение за очень далекими суперновыми показало, что Вселенная расширяется с ускорением, которое не возможно без некоторого

know it. Were it not for a series of startling coincidences in the precise details of physical law, it seems, humans and similar life-forms would never have come into being.

The most impressive fine-tuning coincidence involves the so-called cosmological constant in Einstein's equations of general relativity. As we've said, in 1915, when he formulated the theory, Einstein believed that the universe was static, that is, neither expanding nor contracting. Since all matter attracts other matter, he introduced into his theory a new antigravity force to combat the tendency of the universe to collapse onto itself. This force, unlike other forces, did not come from any particular source but was built into the very fabric of space-time. The cosmological constant describes the strength of that force.

When it was discovered that the universe was not static, Einstein eliminated the cosmological constant from his theory and called including it the greatest blunder of his life. But in 1998 observations of very distant supernovas revealed that the universe is expanding at an accelerating rate, an effect that is not possible without some



рода отталкивающей силы, действующей сквозь пространство. Космологическая константа получила второе рождение. Как мы теперь знаем, ее значение отлично от нуля, вопрос остается, почему она имеет такое значение, какое она имеет. Физики объяснили, как это могло произойти благодаря квантово-механическому эффекту, но значение, которое они смогли вычислить является числом на 120 порядков (единица со 120 нулями) больше, чем действительное значение, полученное наблюдением за суперновой. Это означает, что либо принципы, примененные в вычислениях, были ошибочными, либо существуют еще другие факторы, которые чудесным образом отменяют все, кроме невообразимо маленького значения вычисленного числа. Но одно определенно, что если значение космологической константы много больше, чем это, то наша Вселенная разорвалась бы на куски, прежде, чем могли бы сформироваться галактики - и жизнь, которую мы знаем, была бы не возможна.

Как мы можем интерпретировать эту уникальность? Невероятность в точности форм и природы фундаментальных физических законов является удачей из удач, которую мы находим в окружающем мире. Это не легко объяснить, и это имеет более глубокий физический

kind of repulsive force acting throughout space. The cosmological constant was resurrected. Since we now know that its value is not zero, the question remains, why does it have the value that it does? Physicists have created arguments explaining how it might arise due to quantum mechanical effects, but the value they calculate is about 120 orders of magnitude (a 1 followed by 120 zeroes) stronger than the actual value, obtained through the supernova observations. That means that either the reasoning employed in the calculation was wrong or else some other effect exists that miraculously cancels all but an unimaginably tiny fraction of the number calculated. The one thing that is certain is that if the value of the cosmological constant were much larger than it is, our universe would have blown itself apart before galaxies could form and—once again—life as we know it would be impossible.

What can we make of these coincidences? Luck in the precise form and nature of fundamental physical law is a different kind of luck from the luck we find in environmental factors. It cannot be so easily explained, and has far deeper physical

и философский смысл. Наша Вселенная и ее законы, кажется, созданы по проекту, и они предназначены, чтобы поддерживать нас, и, если мы существуем, оставляет маленькую возможность для изменений. Это нелегко объяснить, и возникает вопрос: почему это так?

Многим хотелось бы использовать это случайное стечение обстоятельств как доказательство Божьего творения. Идея о том, что Вселенная была задумана так, чтобы поддержать человечество, возникла в теологии и мифологии тысячи лет назад и существует по сей день. В "книге народов" древних майя, в мифо-исторических повестях боги провозглашают: "Мы не получим ни славы ни почестей от всего того, что мы создали, до тех пор пока существует человек, способный ощущать". Типичный Египетский текст, датированный 2000 годом до н.э. гласит: "Люди, племя Божье, обеспечены им для существования". Он (Бог Солнца) создал небо и Землю для их блага. В Китае даосский философ Lieh Yu-K'ou (400 год до н.э.) высказывал идею через героя сказки, который говорит: "Небеса создали 5 видов семян для всхода, и привнесли свыше рыбу и птицу для нашей выгоды".

and philosophical implications. Our universe and its laws appear to have a design that both is tailor-made to support us and, if we are to exist, leaves little room for alteration. That is not easily explained, and raises the natural question of why it is that way.

Many people would like us to use these coincidences as evidence of the work of God. The idea that the universe was designed to accommodate mankind appears in theologies and mythologies dating from thousands of years ago right up to the present. In the Mayan Popol Vuh mythohistorical narratives the gods proclaim, "We shall receive neither glory nor honor from all that we have created and formed until human beings exist, endowed with sentience." A typical Egyptian text dated 2000 BC states, "Men, the cattle of God, have been well provided for. He [the sun god] made the sky and earth for their benefit." In China the Taoist philosopher Lieh Yü-K'ou (c. 400 BC) expressed the idea through a character in a tale who says, "Heaven makes the five kinds of grain to grow, and brings forth the finny and the feathered tribes, especially for our benefit."

В западной культуре Ветхий Завет содержит идею о предопределенном замысле в своей истории создания, но традиционная христианская точка зрения находилась также под большим влиянием Аристотеля, который считал, что "разумный мир действует в соответствии с некоторым преднамеренным замыслом". Средневековый христианский теолог Фома Аквинский использовал идею Аристотеля о порядке в природе, чтобы объяснить существование Бога. В восемнадцатом веке другой христианский теолог зашел так далеко, что сказал, что кролики имеют белые хвосты, чтобы нам было легко охотиться на них. Более современная иллюстрация христианской точки зрения была дана несколько лет назад, когда кардинал Кристоф Шонборн, архиепископ Вены, написал: "Сейчас, в 21 веке, сталкиваясь с научными утверждениями подобно неодарвинизму и гипотезе о многих вселенных в космологии, выдуманных, чтобы избежать подавляющих доказательств в цели и дизайне, найденном в современной науке, Католическая церковь, снова защитит человеческую натуру, объявляя, что постоянный дизайн в природе реален." В космологии несомненной очевидностью назначения и замысла,

In Western culture the Old Testament contains the idea of providential design in its story of creation, but the traditional Christian viewpoint was also greatly influenced by Aristotle, who believed "in an intelligent natural world that functions according to some deliberate design." The medieval Christian theologian Thomas Aquinas employed Aristotle's ideas about the order in nature to argue for the existence of God. In the eighteenth century another Christian theologian went so far as to say that rabbits have white tails in order that it be easy for us to shoot them. A more modern illustration of the Christian view was given a few years ago when Cardinal Christoph Schönborn, archbishop of Vienna, wrote, "Now, at the beginning of the 21st century, faced with scientific claims like neo-Darwinism and the multiverse [many universes] hypothesis in cosmology invented to avoid the overwhelming evidence for purpose and design found in modern science, the Catholic Church will again defend human nature by proclaiming that the immanent design in nature is real." In cosmology the overwhelming evidence for purpose and design to

на которые ссылался кардинал, является точная регулировка физических законов, о которой мы писали выше.

Поворотным моментом в научном отказе от геоцентрической системы мира, была модель солнечной системы Коперника, в которой Земля больше не занимала центральную позицию. Забавно, что собственное мировоззрение Коперника было антропоморфическим, он даже успокаивал нас, указывая на то, что несмотря на его гелиоцентрическую модель, Земля является почти центром Вселенной: "Хотя Земля не является центром Вселенной, тем не менее, расстояние от земли до центра ничтожно, если сравнивать его с расстоянием от центра до звезд". С изобретением телескопа, открытия в 17 веке, такие как то, что не только вокруг нашей планеты имеется спутник, придали вес закону о том, что мы не занимаем привилегированное положение во Вселенной. В последующие века новые открытия показали, что наша планета является, вероятно, просто заурядной планетой. Но открытие относительно недавно исключительно тонкой регулировки многих законов природы могло вернуть, по крайней мере, некоторых из нас к старой идее,

which the cardinal was referring is the fine-tuning of physical law we described above.

The turning point in the scientific rejection of a human-centered universe was the Copernican model of the solar system, in which the earth no longer held a central position. Ironically, Copernicus's own worldview was anthropomorphic, even to the extent that he comforts us by pointing out that, despite his heliocentric model, the earth is *almost* at the universe's center: "Although [the earth] is not at the center of the world, nevertheless the distance [to that center] is as nothing in particular when compared to that of the fixed stars." With the invention of the telescope, observations in the seventeenth century, such as the fact that ours is not the only planet orbited by a moon, lent weight to the principle that we hold no privileged position in the universe. In the ensuing centuries the more we discovered about the universe, the more it seemed ours was probably just a garden-variety planet. But the discovery relatively recently of the extreme fine-tuning of so many of the laws of nature could lead at least some of us some back to the old idea



что этот великий проект является работой некоторого великого дизайнера. В США, поскольку Конституция запрещает преподавание религии в школе, подобную идею называли искусственным проектом, не упоминая, но подразумевая, что этот создатель - Бог.

Но это не ответ современной науки. Мы видели в [Главе 5](#), что наша Вселенная должна быть одной из многих, у каждой из которых свои законы. Гипотеза о множестве вселенных - это не понятие, изобретенное, чтобы не считать чудом точную настройку. Это результат пограничных условий, так же как многих других теорий в современной космологии. Но если это так, тогда сильный антропный принцип может считаться фактически эквивалентным слабому, помещая точную настройку физических законов на некоторую основу, такую, как факторы окружающей среды, то это будет означать, что наша космическая среда - теперь полностью обозримая Вселенная - является одной из многих, как и наша солнечная система одна из многих. Это означает, что таким же образом, как и гармония в нашей солнечной системе была создана обычным образом, и поэтому миллиарды таких систем существуют, так же и точной подгонкой законов

that this grand design is the work of some grand designer. In the United States, because the Constitution prohibits the teaching of religion in schools, that type of idea is called intelligent design, with the unstated but implied understanding that the designer is God.

That is not the answer of modern science. We saw in [Chapter 5](#) that our universe seems to be one of many, each with different laws. That multiverse idea is not a notion invented to account for the miracle of fine-tuning. It is a consequence of the no-boundary condition as well as many other theories of modern cosmology. But if it is true, then the strong anthropic principle can be considered effectively equivalent to the weak one, putting the fine-tunings of physical law on the same footing as the environmental factors, for it means that our cosmic habitat—now the entire observable universe—is only one of many, just as our solar system is one of many. That means that in the same way that the environmental coincidences of our solar system were rendered unremarkable by the realization that billions of such systems exist, the fine-tunings in the laws of

природы можно объяснить существование множества вселенных. Множество людей долгие годы приписывали Богу красоту и сложность природы, так как в то время не было научного объяснения. Но, как Дарвин и Уоллас объяснили, как несомненно поразительный дизайн живых форм мог появиться без вмешательства высшей сущности, концепция множественных вселенных может объяснить точную подгонку физических законов без участия великодушного создателя, который сотворил Вселенную для нашего блага.

Эйнштейн однажды задал своему ассистенту Эрнсту Штраусу вопрос: "Имел ли Бог выбор, создавая Вселенную?" В конце 16 века Кеплер был убежден, что Бог создал Вселенную, в соответствие с некоторыми совершенными математическими принципами. Ньютон показал, что те же самые законы, которые действуют на небесах, действуют и на Земле, и разработал математические уравнения, чтобы описать эти законы, которые оказались такими изящными, что они заразили многих ученых 18 века, которые намеревались использовать их, чтобы доказать, что Бог был математиком.

nature can be explained by the existence of multiple universes. Many people through the ages have attributed to God the beauty and complexity of nature that in their time seemed to have no scientific explanation. But just as Darwin and Wallace explained how the apparently miraculous design of living forms could appear without intervention by a supreme being, the multiverse concept can explain the fine-tuning of physical law without the need for a benevolent creator who made the universe for our benefit.

Einstein once posed to his assistant Ernst Straus the question "Did God have any choice when he created the universe?" In the late sixteenth century Kepler was convinced that God had created the universe according to some perfect mathematical principle. Newton showed that the same laws that apply in the heavens apply on earth, and developed mathematical equations to express those laws that were so elegant they inspired almost religious fervor among many eighteenth-century scientists, who seemed intent on using them to show that God was a mathematician.

Со времен Ньютона и, особенно, Эйнштейна, целью физики было найти математические принципы, которые предсказывал Кеплер, и с помощью них создать единую теорию всего, что позволило бы просчитать каждый элемент материи и сил, которые мы наблюдаем в природе. В конце девятнадцатого - начале двадцатого века, Максвелл и Эйнштейн объединили теории электричества, магнетизма и светового излучения. В 1970-х была создана стандартная модель - единая теория сильного и слабого ядерного взаимодействия и электромагнитного взаимодействия. Теория струн и М-теория были созданы, чтобы включить в единую теорию оставшееся гравитационное взаимодействие. Целью было найти не просто единую теорию, которая объясняет все эти взаимодействия, но так же объясняет фундаментальные составляющие, о которых мы говорили: силы взаимодействия, массы и заряды элементарных частиц. Как выразился Эйнштейн, надежда была в том, чтобы можно было сказать, что "природа так устроена, что возможно логически сформулировать такие строго детерминированные законы, которые используют только рациональные полностью определенные константы (следовательно, не те константы, чьи значения

Ever since Newton, and especially since Einstein, the goal of physics has been to find simple mathematical principles of the kind Kepler envisioned, and with them to create a unified theory of everything that would account for every detail of the matter and forces we observe in nature. In the late nineteenth and early twentieth century Maxwell and Einstein united the theories of electricity, magnetism, and light. In the 1970s the standard model was created, a single theory of the strong and weak nuclear forces, and the electromagnetic force. String theory and M-theory then came into being in an attempt to include the remaining force, gravity. The goal was to find not just a single theory that explains all the forces but also one that explains the fundamental numbers we have been talking about, such as the strength of the forces and the masses and charges of the elementary particles. As Einstein put it, the hope was to be able to say that "nature is so constituted that it is possible logically to lay down such strongly determined laws that within these laws only rationally completely determined constants occur (not constants, therefore, whose numerical

могут быть изменены, не разрушая теорию)". Единая теория вряд ли имела бы точную настройку, чтобы позволить нам существовать. Но если в свете последних достижений мы интерпретируем мечты Эйнштейна о единой теории, которая объясняет эту и другие вселенные, с их целым спектром различных законов, то М-теория могла бы стать такой теорией. Но является ли М-теория единой, или нуждается в любых простых логических принципах. Можем ли мы ответить на вопрос, почему М-теория?

value could be changed without destroying the theory)." A unique theory would be unlikely to have the fine-tuning that allows us to exist. But if in light of recent advances we interpret Einstein's dream to be that of a unique theory that explains this and other universes, with their whole spectrum of different laws, then M-theory could be that theory. But is M-theory unique, or demanded by any simple logical principle? Can we answer the question, *why M-theory*?







8



ВЕЛИКИЙ ЗАМЫСЕЛ

8



THE GRAND DESIGN

**В** ЭТОЙ КНИГЕ МЫ ПОКАЗАЛИ, как закономерности в движении астрономических тел, таких как Солнце, Луна и планеты наводят на мысль, что они подчиняются определенным законам лучше, чем если бы они были объектами прихотей или капризов Бога или дьявола. В начале существования законов было очевидно только в астрономии (или астрологии, которая рассматривалась как то же самое). Движение тел на небе является столь сложным и зависит от многих факторов, что ранние цивилизации были не в состоянии представить четкие модели или законы, обуславливаемые этими явлениями. Постепенно, однако, новые законы были открыты в областях, отличных от астрономии, и это привело к идее научного детерминизма. Предполагается, что должен быть описан полный и завершенный свод законов, так чтобы имея определенное состояние Вселенной в определенный момент времени, можно было бы точно предсказать, как Вселенная будет развиваться в будущем. Эти законы должны соблюдаться везде и во все времена, иначе они не были бы законами. И не должно быть никаких исключений или чудес. Бог или Дьявол не могли бы вмешиваться в развитие Вселенной.

**I**N THIS BOOK WE HAVE DESCRIBED how regularities in the motion of astronomical bodies such as the sun, the moon, and the planets suggested that they were governed by fixed laws rather than being subject to the arbitrary whims and caprices of gods and demons. At first the existence of such laws became apparent only in astronomy (or astrology, which was regarded as much the same). The behavior of things on earth is so complicated and subject to so many influences that early civilizations were unable to discern any clear patterns or laws governing these phenomena. Gradually, however, new laws were discovered in areas other than astronomy, and this led to the idea of scientific determinism: There must be a complete set of laws that, given the state of the universe at a specific time, would specify how the universe would develop from that time forward. These laws should hold everywhere and at all times; otherwise they wouldn't be laws. There could be no exceptions or miracles. Gods or demons couldn't intervene in the running of the universe.



В то время, когда впервые был предложен научный детерминизм, законы Ньютона о движении и гравитации были единственными законами. Мы показали, как эти законы были дополнены Эйнштейном в своей общей теории относительности, и как были открыты другие законы, описывающие другие аспекты мироздания.

Законы естества объясняют нам, как Вселенная развивается, но они не могут ответить на вопрос: почему именно так? Вот вопросы, которые были поставлены в начале этой книги:

*Почему нечто лучше, чем ничего?*

*Почему мы существуем?*

*Почему существует именно этот набор законов, а не другой?*

Некоторые ответят на эти вопросы, что существует Бог, который решил создать мироздание именно таким. Резонно спросить, кто или что создало Вселенную, но если ответом будет - Бог, тогда естественно возникает вопрос, а кто создал Бога? Если принять ту точку зрения, то есть некоторая сущность, которая не нуждается в создателе, и эта сущность называется Богом. Это приводится,

At the time that scientific determinism was first proposed, Newton's laws of motion and gravity were the only laws known. We have described how these laws were extended by Einstein in his general theory of relativity, and how other laws were discovered to govern other aspects of the universe.

The laws of nature tell us *how* the universe behaves, but they don't answer the *why*? questions that we posed at the start of this book:

*Why is there something rather than nothing?*

*Why do we exist?*

*Why this particular set of laws and not some other?*

Some would claim the answer to these questions is that there is a God who chose to create the universe that way. It is reasonable to ask who or what created the universe, but if the answer is God, then the question has merely been deflected to that of who created God. In this view it is accepted that some entity exists that needs no creator, and that entity is called God. This is

как главный аргумент того, что Бог существует. Мы хотим, однако, получить ответ на этот вопрос исключительно внутри сферы науки, без привлечения божественных сил.

В соответствие с идеей модельно-зависимого реализма, представленного в [Главе 3](#), наш мозг интерпретирует поступающую через наши органы чувств информацию, создавая модель внешнего мира. Мы формируем внутреннее представление о нашем доме, деревьях, других людях, электричестве в розетках, атомах, молекулах и других сущностях. Это внутреннее представление является единственной реальностью, которую мы можем понимать. Не существует модельно независимого подтверждения реальности. Из этого следует, что хорошо сконструированная модель создает свою собственную реальность. Примером того, что может помочь нам понять о реальности и создании, является Игра Жизни, изобретенная в 1970 году молодым математиком из Кембриджа по имени Джон Конвей.

Слово "игра" в Игре Жизни является обманчивым термином. Там нет ни победителей ни проигравших, фактически, там нет игроков. Игра Жизни - не настоящая игра, а набор законов, которые управляют двумерной Вселенной. Это детерминированная

known as the first-cause argument for the existence of God. We claim, however, that it is possible to answer these questions purely within the realm of science, and without invoking any divine beings.

According to the idea of model-dependent realism introduced in [Chapter 3](#), our brains interpret the input from our sensory organs by making a model of the outside world. We form mental concepts of our home, trees, other people, the electricity that flows from wall sockets, atoms, molecules, and other universes. These mental concepts are the only reality we can know. There is no model-independent test of reality. It follows that a well-constructed model creates a reality of its own. An example that can help us think about issues of reality and creation is the Game of Life, invented in 1970 by a young mathematician at Cambridge named John Conway.

The word "game" in the Game of Life is a misleading term. There are no winners and losers; in fact, there are no players. The Game of Life is not really a game but a set of laws that govern a two-dimensional universe. It is a deterministic

Вселенная: Единожды вы устанавливаете начальную конфигурацию или условия, а законы помогут точно определить, что произойдет в будущем.

Воображаемый мир Конвея является квадратной матрицей, по типу шахматной доски, но простирающейся по всем сторонам бесконечно. Каждая клетка может находиться в одном из двух состояний. Живая (зеленый цвет) или мертвая (черный). Каждая клетка имеет восемь соседних клеток: сверху, снизу, слева, справа и четыре клетки по диагонали. Время в этом "мире" не непрерывное, а дискретное. Дается некоторое начальное расположение мертвых и живых клеток, число живых соседних клеток определяет, что произойдет дальше в соответствии со следующими законами:

1. Живая клетка, рядом с которой находятся две или три живые клетки выживает.

2. Мертвая клетка, имеющая ровно три живых соседа, становится живой клеткой (рождается).

3. Во всех других случаях клетки либо умирают, либо остаются мертвыми. В случае, если живая клетка имеет ноль или одного живого соседа, считается, что она умерла от одиночества; если же она имеет более трех живых соседей, то считается, что она умерла от перенаселения.

universe: Once you set up a starting configuration, or initial condition, the laws determine what happens in the future.

The world Conway envisioned is a square array, like a chessboard, but extending infinitely in all directions. Each square can be in one of two states: alive (shown in green) or dead (shown in black). Each square has eight neighbors: the up, down, left, and right neighbors and four diagonal neighbors. Time in this world is not continuous but moves forward in discrete steps. Given any arrangement of dead and live squares, the number of live neighbors determine what happens next according to the following laws:

1. A live square with two or three live neighbors survives (survival).

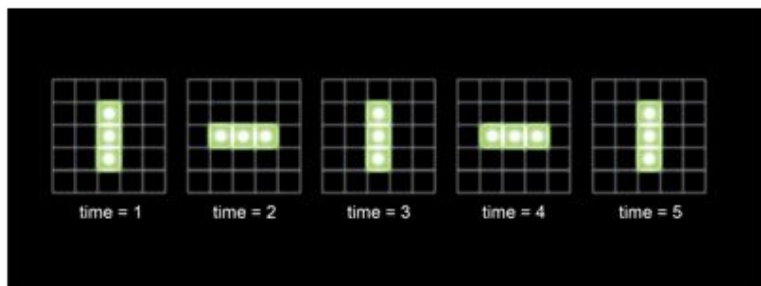
2. A dead square with exactly three live neighbors becomes a live cell (birth).

3. In all other cases a cell dies or remains dead. In the case that a live square has zero or one neighbor, it is said to die of loneliness; if it has more than three neighbors, it is said to die of overcrowding.

Это все правила, приступим. Дается начальное условие, и законы начинают порождать поколение за поколением. Изолированные одна живая клетка или две соседние живые клетки умирают при следующем дискретном шаге времени, поскольку они не имеют достаточное количество живых соседей. Три живые клетки, расположенные по диагонали живут чуть дольше. После первого временного шага умирают конечные клетки, на следующем шаге умирает уже средняя клетка. Любая диагональная линия живых клеток "испаряется" таким вот образом. Но если три живых клетки располагаются горизонтально в ряд, снова центральная клетка имеет двух соседей и выживает, а две конечные - умирают, но в этом случае клетки, находящиеся выше и ниже центральной рождаются согласно закону. Поэтому ряд превращается в колонку. Аналогично, при следующем шаге колонка превращается в ряд и так далее. Такая колеблющаяся конфигурация называется "реле".

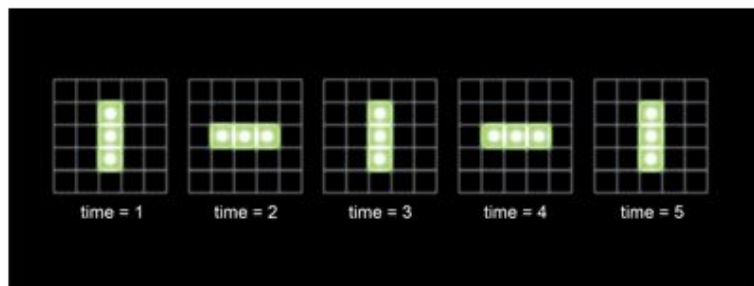
That's all there is to it: Given any initial condition, these laws generate generation after generation. An isolated living square or two adjacent live squares die in the next generation because they don't have enough neighbors. Three live squares along a diagonal live a bit longer. After the first time step the end squares die, leaving just the middle square, which dies in the following generation. Any diagonal line of squares "evaporates" in just this manner. But if three live squares are placed horizontally in a row, again the center has two neighbors and survives while the two end squares die, but in this case the cells just above and below the center cell experience a birth. The row therefore turns into a column. Similarly, the next generation the column back turns into a row, and so forth. Such oscillating configurations are called blinkers.





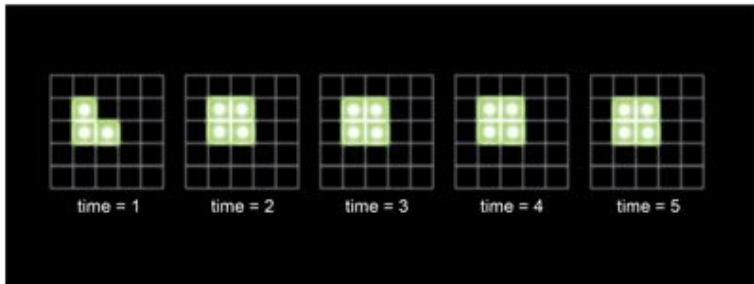
**Реле.** Реле является простейшим типом композитного объекта в Игре Жизни.

Если три живые клетки расположены углом (в форме L), происходит следующее. При следующем шаге рождается недостающая до квадрата 2x2 клетка и получается квадрат. Блок, принадлежащий к такому типу названному "образцом", продолжает жить, потому что он с течением времени будет неизменным. Многие типы "образцов" являются трансформерами, поскольку их соседние клетки то умирают, то рождаются, и в итоге через некоторое количество шагов "образец" принимает свою первоначальную форму.



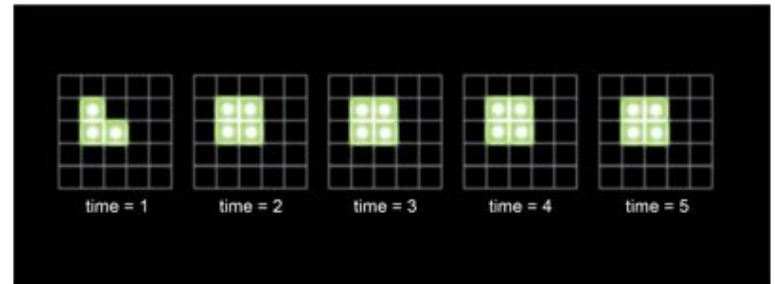
**Blinkers** Blinkers are a simple type of composite object in the Game of Life.

If three live squares are placed in the shape of an L, a new behavior occurs. In the next generation the square cradled by the L will give birth, leading to a  $2 \times 2$  block. The block belongs to a pattern type called the still life because it will pass from generation to generation unaltered. Many types of patterns exist that morph in the early generations but soon turn into a still life, or die, or return to their original form and then repeat the process.



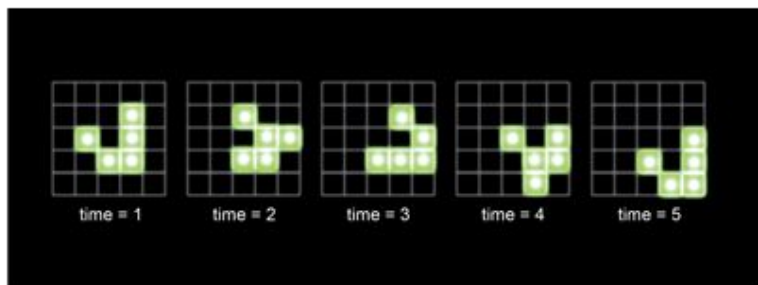
**Эволюция к Застойной Жизни.** Некоторые композитные объекты в Игре Жизни принимают со временем неизменяемую форму.

Существует так же модель, названная "глизсером", которая меняет свою форму и после нескольких трансформаций принимает свою первоначальную форму, но в позиции, смещенной относительно первоначальной на одну клетку по диагонали. Если вы понаблюдаете некоторое время, то "глизсер" будет медленно ползти по диагонали. Когда "глизсеры" сталкиваются, могут произойти любопытные вещи, в зависимости от формы каждого "глизсера" на момент столкновения.



**Evolution to a Still Life** Some composite objects in the Game of Life evolve into a form that the rules dictate will never change.

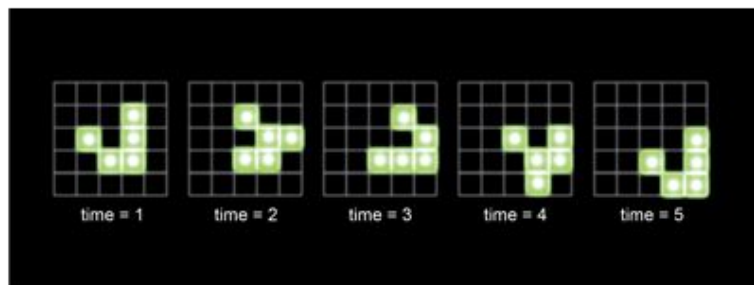
There are also patterns called gliders, which morph into other shapes and, after a few generations, return to their original form, but in a position one square down along the diagonal. If you watch these develop over time, they appear to crawl along the array. When these gliders collide, curious behaviors can occur, depending on each glider's shape at the moment of collision.



**Глиссеры.** Глиссеры трансформируются и вновь принимают первоначальную форму, оказываясь смещенными по диагонали на одну клетку.

Почему нам интересен этот виртуальный мир? Хотя его фундаментальная "физика" очень проста, его "химия" может быть довольно сложна. Композитные объекты можно рассматривать с разных уровней. На первом уровне фундаментальная физика сообщает нам, что существуют только живые и мертвые клетки. На следующем уровне существуют "глиссеры", "реле" и "образцы". На следующем уровне существуют даже более сложные объекты, такие как "производитель глиссеров": неподвижные объекты, которые периодически порождают новые "глиссеры", которые покидают свое "гнездо" и устремляются вниз по диагонали.

Если вы понаблюдаете за виртуальным миром Игры Жизни на



**Gliders** Gliders morph through these intermediate shapes, then return to their original form, displaced by one square along the diagonal.

What makes this universe interesting is that although the fundamental "physics" of this universe is simple, the "chemistry" can be complicated. That is, composite objects exist on different scales. At the smallest scale, the fundamental physics tells us that there are just live and dead squares. On a larger scale, there are gliders, blinkers, and still-life blocks. At a still larger scale there are even more complex objects, such as glider guns: stationary patterns that periodically give birth to new gliders that leave the nest and stream down the diagonal.

If you observed the Game of Life universe for a

некотором уровне, вы сможете сформулировать законы, по которым ведут себя объекты на этом уровне. Например, на этом уровне объектов вы можете открыть законы такие, как "Блоки никогда не двигаются", "Глиссеры перемещаются по диагонали" и различные законы для того случая, когда объекты сталкиваются. Можно создать целостную физику для любого уровня композитных объектов. Эти законы повлекут за собой новые сущности и концепции, которых не было среди первоначальных законов. Например, в первоначальных законах не было таких понятий, как "столкновение" и "движение". Первоначальные законы описывали только жизнь и смерть отдельных неподвижных клеток. В нашем виртуальном мире, в Игре Жизни, ваша реальность зависит от модели, которую вы используете.

while on any particular scale, you could deduce laws governing the objects on that scale. For example, on the scale of objects just a few squares across you might have laws such as "Blocks never move," "Gliders move diagonally," and various laws for what happens when objects collide. You could create an entire physics on any level of composite objects. The laws would entail entities and concepts that have no place among the original laws. For example, there are no concepts such as "collide" or "move" in the original laws. Those describe merely the life and death of individual stationary squares. As in our universe, in the Game of Life your reality depends on the model you employ.





### Начальная Конфигурация Производителя Глисеров.

Производитель глисеров приблизительно в десять раз больше глисера.

Конвей и его студенты создали этот мир, потому что они хотели узнать, может ли некий виртуальный мир (с начальными простыми законами, которые они установили), содержать достаточно сложные объекты, способные к воспроизводству. В этом мире Игры Жизни существуют ли композитные объекты, которые на основе первоначальных законов на некоторой стадии начнут воспроизводить

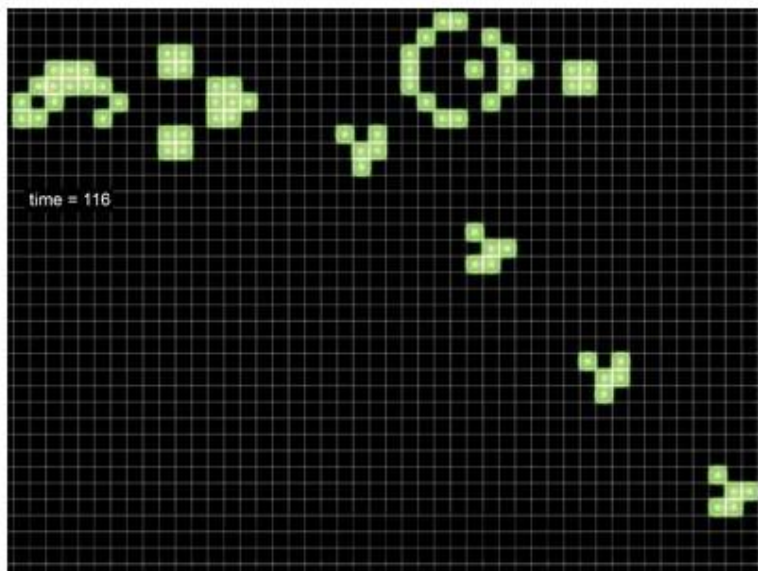


**Initial Configuration of the Glider Gun** The glider gun is roughly ten times as large as a glider.

Conway and his students created this world because they wanted to know if a universe with fundamental rules as simple as the ones they defined could contain objects complex enough to replicate. In the Game of Life world, do composite objects exist that, after merely following the laws of that world for some generations, will spawn

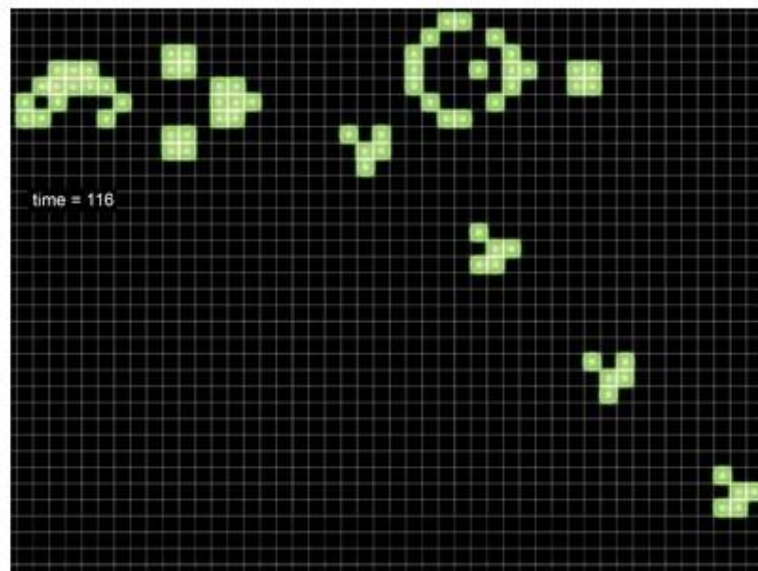
новые объекты? Конвей и его студенты не только продемонстрировали, что это возможно, но они даже показали, что такой объект является, в некотором смысле, разумным! Что мы подразумеваем под этим? Если точнее, то они показали, что огромная конгломерация клеток, которые самовоспроизводятся, является универсальной Тьюринговой машиной. Для нас это может означать, что некоторые вычисления компьютер в нашем физическом мире может, в принципе, выполнить, если ему предоставить четкие входные данные - обеспечить соответствующую виртуальному миру Игры Жизни среду - тогда через некоторое время компьютерный мир будет находиться в том состоянии, которое можно сравнить с предсказанными результатами компьютерного расчета.

others of their kind? Not only were Conway and his students able to demonstrate that this is possible, but they even showed that such an object would be, in a sense, intelligent! What do we mean by that? To be precise, they showed that the huge conglomerations of squares that self-replicate are “universal Turing machines.” For our purposes that means that for any calculation a computer in our physical world can in principle carry out, if the machine were fed the appropriate input—that is, supplied the appropriate Game of Life world environment—then some generations later the machine would be in a state from which an output could be read that would correspond to the result of that computer calculation.



**Производитель Глисеров После 116 Шага.** Со временем производитель глисеров меняет форму, порождает глиссер и затем принимает свою первоначальную форму и положение. Процесс повторяется до бесконечности.

Чтобы почувствовать, как это работает, подумайте, что произойдет, когда "глиссер" сталкивается с простым  $2 \times 2$  блоком живых клеток. Если "глиссер" приближается нормальным образом, то блок, который является стационарным, начнет двигаться к источнику "глиссера", либо от него. Таким образом, блок может



**The Glider Gun After 116 Generations** With time, the glider gun changes shape, emits a glider, and then returns to its original form and position. It repeats the process ad infinitum.

To get a taste for how that works, consider what happens when gliders are shot at a simple  $2 \times 2$  block of live squares. If the gliders approach in just the right way, the block, which had been stationary, will move toward or away from the source of the gliders. In this way, the block can

имитировать компьютерную память. Фактически, все основные функции современного компьютера, такие как логические элементы AND и OR, также могут быть воспроизведены "глитчерами". Таким образом, как электрические сигналы используются в физических компьютерах, поток "глитчеров" может использоваться для отправки и обработки информации.

В Игре Жизни, как и в нашем мире, самовоспроизводящиеся объекты являются сложными объектами. По оценке, основанной на ранних работах математика Джона фон Неймана, минимальный размер самовоспроизводящегося объекта в Игре Жизни - десять триллионов клеток - приблизительно равно количеству молекул в одной человеческой клетке.

Можно определить жизнь, как комплексную систему ограниченного размера, которая стабильна и воспроизводит сама себя. Объекты, описанные выше, соответствуют условию репродуктивности, но вероятно нестабильны. Небольшое воздействие из внешнего мира вероятно разрушит этот тонкий механизм. Однако, легко представить, что немного более сложные законы позволят существовать комплексным системам со всеми атрибутами жизни. Представьте сущность такого типа, как объект в мире Конвея. Такой объект будет реагировать

simulate a computer memory. In fact, all the basic functions of a modern computer, such as AND and OR gates, can also be created from gliders. In this manner, just as electrical signals are employed in a physical computer, streams of gliders can be employed to send and process information.

In the Game of Life, as in our world, self-reproducing patterns are complex objects. One estimate, based on the earlier work of mathematician John von Neumann, places the minimum size of a self-replicating pattern in the Game of Life at ten trillion squares—roughly the number of molecules in a single human cell.

One can define living beings as complex systems of limited size that are stable and that reproduce themselves. The objects described above satisfy the reproduction condition but are probably not stable: A small disturbance from outside would probably wreck the delicate mechanism. However, it is easy to imagine that slightly more complicated laws would allow complex systems with all the attributes of life. Imagine an entity of that type, an object in a Conway-type world. Such an object would respond



на внешнее воздействие, и, следовательно, принимать решения. Будет ли такая жизнь иметь сознание? Будет ли она мыслящей? Это вопрос, на который мнения резко разделились. Некоторые считают, что самосознание характерно только для человека. Это дает ему свободу воли, способность выбирать между различными вариантами действий.

Как можно определить, имеет ли существо свободную волю? Если кто-то повстречает пришельца, как сможет он определить что это просто робот или же что у него есть разум? Поведение робота является полностью детерминированным, в отличие от обладающего свободной волей. Хотя можно, в принципе, дать определение роботу, как существу, чьи действия можно предсказать. Как мы говорили в Главе 2, это может быть практически невозможно, если существо является большим и сложным. Мы даже не можем точно решить уравнение для трех и более частиц, взаимодействующих друг с другом. Как и у пришельца, тело человека состоит из тысячи триллионов триллионов частиц, и даже если бы пришелец был бы роботом, было бы не возможно решить уравнение и предсказать его поведение. Поэтому можно сказать, что любое сложное существо имеет свободную волю - не как основополагающую особенность, а как действенный принцип,

to environmental stimuli, and hence appear to make decisions. Would such life be aware of itself? Would it be self-conscious? This is a question on which opinion is sharply divided. Some people claim that self-awareness is something unique to humans. It gives them free will, the ability to choose between different courses of action.

How can one tell if a being has free will? If one encounters an alien, how can one tell if it is just a robot or it has a mind of its own? The behavior of a robot would be completely determined, unlike that of a being with free will. Thus one could in principle detect a robot as a being whose actions can be predicted. As we said in [Chapter 2](#), this may be impossibly difficult if the being is large and complex. We cannot even solve exactly the equations for three or more particles interacting with each other. Since an alien the size of a human would contain about a thousand trillion trillion particles even if the alien were a robot, it would be impossible to solve the equations and predict what it would do. We would therefore have to say that any complex being has free will—not as a fundamental feature, but as an effective theory, an

признавая нашу неспособность проделать вычисления, которые бы предсказать нам его поведение.

Пример Игры Жизни Конвея показывает, что даже очень простой набор законов может породить сложное поведение, встречающееся в разумной жизни. Должно быть, существует много наборов законов с такими свойствами. Что отличает фундаментальные законы (в противовес очевидным законам), которые управляют нашей Вселенной? Как и в "мире" Конвея, законы нашей Вселенной определяют эволюцию системы, ее состояние в любой момент времени. В "мире" Конвея мы являемся создателями - мы выбираем начальное состояние "мира", определяя объекты и их положение в начале игры.

В реальном мире аналогами объектов, таких как "глиссеры" в Игре Жизни, являются обособленное материальное тело. Любой набор законов, который описывает развитие мира, подобно нашему, будет основываться на принципе сохранения энергии, означающим, что ее величина не меняется со временем. Энергия Вселенной будет постоянной, не зависимо ни от времени, ни от состояния. Можно вычислить эту константу энергии вакуума, измеряя энергию любого объема пространства

admission of our inability to do the calculations that would enable us to predict its actions.

The example of Conway's Game of Life shows that even a very simple set of laws can produce complex features similar to those of intelligent life. There must be many sets of laws with this property. What picks out the fundamental laws (as opposed to the apparent laws) that govern our universe? As in Conway's universe, the laws of our universe determine the evolution of the system, given the state at any one time. In Conway's world we are the creators—we choose the initial state of the universe by specifying objects and their positions at the start of the game.

In a physical universe, the counterparts of objects such as gliders in the Game of Life are isolated bodies of matter. Any set of laws that describes a continuous world such as our own will have a concept of energy, which is a conserved quantity, meaning it doesn't change in time. The energy of empty space will be a constant, independent of both time and position. One can subtract out this constant vacuum energy by measuring the energy of any volume of space

относительно такого же объема пустого пространства, таким образом, мы можем назвать постоянный ноль. Единственным требованием, которому должен удовлетворять закон природы, является то, что он устанавливает, чтобы энергия обособленного тела, окруженного пустым пространством, была положительной, что означает, что должна быть проделана работа, чтобы создать это тело. Это потому, что если бы энергия обособленного тела была отрицательной, тело могло бы быть создано в состоянии движения, так что его отрицательная энергия была бы точно уравновешена положительной энергией его движения. Если это верно, то нет никаких оснований считать, что тела не могут появляться где-либо или везде. Пустое пространство будет поэтому нестабильным. Но если затрачивается энергия для создания обособленного тела, такой нестабильности не может быть, потому что, как мы уже говорили, энергия Вселенной должна оставаться постоянной. Именно это делает Вселенную локально стабильной - объекты не должны появляться где-либо из ничего.

Если полная энергия Вселенной должна всегда оставаться нулевой, и необходимо затратить энергию, чтобы создать тело, как может вся Вселенная быть создана из ничего. Вот почему должен существовать такой закон, как гравитация. Так как гравитация притягивает,

relative to that of the same volume of empty space, so we may as well call the constant zero. One requirement any law of nature must satisfy is that it dictates that the energy of an isolated body surrounded by empty space is positive, which means that one has to do work to assemble the body. That's because if the energy of an isolated body were negative, it could be created in a state of motion so that its negative energy was exactly balanced by the positive energy due to its motion. If that were true, there would be no reason that bodies could not appear anywhere and everywhere. Empty space would therefore be unstable. But if it costs energy to create an isolated body, such instability cannot happen, because, as we've said, the energy of the universe must remain constant. That is what it takes to make the universe locally stable—to make it so that things don't just appear everywhere from nothing.

If the total energy of the universe must always remain zero, and it costs energy to create a body, how can a whole universe be created from nothing? That is why there must be a law like gravity. Because gravity is attractive, gravitational

то энергия гравитации является отрицательной. Необходимо произвести работу, чтобы разделить гравитационно связанную систему, такую как Земля и Луна. Эта отрицательная энергия может быть сбалансирована положительной энергией, необходимой чтобы создать материю, но все не так просто. Отрицательная гравитационная энергия земли, к примеру, меньше, чем положительная энергия миллиардов частиц, из которых она состоит. Тело, такое как звезда, будет иметь больше отрицательной гравитационной энергии, и чем меньше она (частицы, из которых она состоит, находятся ближе друг к другу), тем больше будет ее отрицательная гравитационная энергия. Но прежде, чем отрицательной гравитационной энергии может стать больше положительной энергии вещества, звезда сколлапсирует в черную дыру, и черная дыра будет иметь положительную энергию. Вот почему пустое пространство стабильно. Тела, такие как звезды или черные дыры, не могут так просто появляться из ничего. Но целая Вселенная может!

Потому что гравитация создает пространство и время, она позволяет пространству-времени быть локально стабильным, но глобально нестабильным. В масштабах целой Вселенной, положительная энергия материи может быть сбалансирована отрицательной гравитационной энергией, и поэтому не существует ограничений на создание целостных вселенных.

energy is negative: One has to do work to separate a gravitationally bound system, such as the earth and moon. This negative energy can balance the positive energy needed to create matter, but it's not quite that simple. The negative gravitational energy of the earth, for example, is less than a billionth of the positive energy of the matter particles the earth is made of. A body such as a star will have more negative gravitational energy, and the smaller it is (the closer the different parts of it are to each other), the greater this negative gravitational energy will be. But before it can become greater than the positive energy of the matter, the star will collapse to a black hole, and black holes have positive energy. That's why empty space is stable. Bodies such as stars or black holes cannot just appear out of nothing. But a whole universe can.

Because gravity shapes space and time, it allows space-time to be locally stable but globally unstable. On the scale of the entire universe, the positive energy of the matter *can* be balanced by the negative gravitational energy, and so there is no restriction on the creation of whole universes.



Потому что существует закон гравитации, Вселенная может и будет создавать саму себя из ничего так же как мы описали в Главе 6. Спонтанное создание является доводом, что нечто лучше, чем ничего, почему Вселенная существует, почему мы существуем. Нет необходимости привлекать Бога, чтобы запустить Вселенную.

Почему существуют фундаментальные законы, которые мы описали? Окончательная теория должна быть последовательна и должна предсказывать конечные результаты для величин, которые мы можем измерить. Мы поняли, что должен существовать такой закон как гравитация, и мы видели в Главе 5, что для того, чтобы теория гравитации предсказывала измеряемые величины, теория должна иметь суперсимметрию между силами природы и материей, на которую они действуют. М-теория - самая общая симметричная теория гравитации. Таким образом, М-теория является единственным кандидатом на законченную теорию Вселенной. Если это окончательно - и это еще надо доказать - то М-теория будет моделью Вселенной, которая создает сама себя. Мы, должно быть, часть этой Вселенной, поскольку не существует другой совместимой модели.

М-теория является объединенной теорией, которую Эйнштейн

Because there is a law like gravity, the universe can and will create itself from nothing in the manner described in [Chapter 6](#). Spontaneous creation is the reason there is something rather than nothing, why the universe exists, why we exist. It is not necessary to invoke God to light the blue touch paper and set the universe going.

Why are the fundamental laws as we have described them? The ultimate theory must be consistent and must predict finite results for quantities that we can measure. We've seen that there must be a law like gravity, and we saw in [Chapter 5](#) that for a theory of gravity to predict finite quantities, the theory must have what is called supersymmetry between the forces of nature and the matter on which they act. M-theory is the most general supersymmetric theory of gravity. For these reasons M-theory is the *only* candidate for a complete theory of the universe. If it is finite—and this has yet to be proved—it will be a model of a universe that creates itself. We must be part of this universe, because there is no other consistent model.

M-theory is the unified theory Einstein was

пытался создать. Тот факт, что мы, люди, существуем, являясь не более чем композицией из фундаментальных частиц природы, и что мы оказались в состоянии подойти к пониманию законов, действующих на нас и на Вселенную, является величайшим триумфом! Возможно, чудом является то, что абстрактные логические выводы привели к уникальной теории, которая предсказывает и описывает громадную Вселенную, полную удивительного многообразия, которое мы наблюдаем. Если эта теория подтвердится наблюдениями, это будет выдающимся умопостроением, к которому люди шли более 3000 лет. Мы откроем великий замысел.

hoping to find. The fact that we human beings—who are ourselves mere collections of fundamental particles of nature—have been able to come this close to an understanding of the laws governing us and our universe is a great triumph. But perhaps the true miracle is that abstract considerations of logic lead to a unique theory that predicts and describes a vast universe full of the amazing variety that we see. If the theory is confirmed by observation, it will be the successful conclusion of a search going back more than 3,000 years. We will have found the grand design.



## ГЛОССАРИЙ

**Альтернативные истории** • формулировка в квантовой теории, в которой вероятность всякого наблюдения состоит из всех возможных историй, которые могли бы привести к этому наблюдению.

**Человеческий принцип** • мнение о том, что мы можем выдвигать умозаключения об очевидных законах физики, основанных на факте нашего существования.

**Антиматерия** • всякая частица материи имеет соответствующую анти-частицу. Когда они встречаются, они аннигилируют друг с другом, выделяя чистую энергию.

**Очевидные законы** • законы природы, наблюдаемые нами в нашей Вселенной - законы четырёх сил и такие величины как масса и заряд, характеризующие элементарные частицы; в отличии от более фундаментальных законов М-Теорий, эти допускают различные вселенные с различными законами.

## GLOSSARY

**Alternative histories** • a formulation of quantum theory in which the probability of any observation is constructed from all the possible histories that could have led to that observation.

**Anthropic principle** • the idea that we can draw conclusions about the apparent laws of physics based on the fact that we exist.

**Antimatter** • each particle of matter has a corresponding anti-particle. If they meet, they annihilate each other, leaving pure energy.

**Apparent laws** • the laws of nature that we observe in our universe—the laws of the four forces, and the parameters such as mass and charge that characterize the elementary particles—in contrast to the more fundamental laws of M-theory that allow for different universes with different laws.



**Асимптотическая свобода** • свойство больших энергий, заставляющее их становиться слабее на коротких отрезках. Следовательно, хотя кварки и привязаны к ядру большой энергией, они могут двигаться в пределах ядра практически также, как если бы они не испытывали влияния этой силы вовсе.

**Атом** • элементарная частица простой материи, состоящая из ядра с протонами и нейтронами, окружённая летающими по орбите электронами.

**Барион** • тип элементарной частицы, такой как протон или нейтрон, состоящей из трёх кварков.

**Большой Взрыв** • сгусток, горячее начало Вселенной. Теория Большого Взрыва постулирует, что около 13 миллиардов лет назад часть Вселенной, которую мы видим, была лишь несколько миллиметров в диаметре. Сейчас же Вселенная гораздо больше и холоднее, но мы можем наблюдать следы более ранних периодов в космическом микроволновом радиационном фоне, пронизывающем всё пространство.

**Asymptotic freedom** • a property of the strong force that causes it to become weaker at short distances. Hence, although quarks are bound in nuclei by the strong force, they can move within nuclei almost as if they felt no force at all.

**Atom** • the basic unit of ordinary matter, consisting of a nucleus with protons and neutrons, surrounded by orbiting electrons.

**Baryon** • a type of elementary particle, such as the proton or neutron, that is made of three quarks.

**Big bang** • the dense, hot beginning of the universe. The big bang theory postulates that about 13.7 billion years ago the part of the universe we can see today was only a few millimeters across. Today the universe is vastly larger and cooler, but we can observe the remnants of that early period in the cosmic microwave background radiation that permeates all space.

**Чёрная дыра** • участок пространства-времени, который благодаря огромной гравитационной силе отрезан от остальной Вселенной.

**Бозон** • элементарная частица, несущая энергию.

**Подход "от частного к общему" (подход "снизу вверх")** • в космологии - идея, опирающаяся на предположение, что существует лишь одна история Вселенной, с строго определённой точкой отчёта и, что нынешнее состояние Вселенной есть стадия эволюции от этой точки.

**Классическая физика** • любая физическая теория, в которой Вселенной предполагается иметь одну строго определённую историю.

**Космологическая постоянная** • коэффициент в уравнении Эйнштейна наделяющий пространство-время изначальной потребностью к растяжению.  
**Электромагнитная сила** • вторая из четырёх по величине сила природы. Происходит между частицами с электрическими зарядами.

**Black hole** • a region of space-time that, due to its immense gravitational force, is cut off from the rest of the universe.

**Boson** • an elementary particle that carries force.

**Bottom-up approach** • in cosmology, an idea that rests on the assumption that there's a single history of the universe, with a well-defined starting point, and that the state of the universe today is an evolution from that beginning.

**Classical physics** • any theory of physics in which the universe is assumed to have a single, well-defined history.

**Cosmological constant** • a parameter in Einstein's equations that gives space-time an inherent tendency to expand.

**Electromagnetic force** • the second strongest of the four forces of nature. It acts between particles with electric charges.

**Электрон** • элементарная частица материи, имеющая отрицательный заряд и ответственная за химические свойства элементов.

**Фермион** • элементарная частица составляющая материю.

**Галактика** • огромная система из звёзд, межзвёздного вещества и тёмной материи, сдерживаемых вместе гравитацией.

**Гравитация** • слабейшая из четырёх сил природы. Причина, по которой объекты обладающие массой притягиваются друг к другу.

**Принцип неопределённости Гейзенберга** • закон квантовой теории, утверждающий, что пара физических величин одновременно не может быть известна с произвольной точностью.

**Мезон** • тип элементарной частицы, состоящий из кварка и анти-кварка.

**М-Теория** • фундаментальная теория физики, претендующая на звание теории всего.

**Electron** • an elementary particle of matter that has a negative charge and is responsible for the chemical properties of elements.

**Fermion** • a matter-type elementary particle.

**Galaxy** • a large system of stars, interstellar matter, and dark matter that is held together by gravity.

**Gravity** • the weakest of the four forces of nature. It is the means by which objects that have mass attract each other.

**Heisenberg uncertainty principle** • a law of quantum theory stating that certain pairs of physical properties cannot be known simultaneously to arbitrary precision.

**Meson** • a type of elementary particle that is made of a quark and an anti-quark.

**M-theory** • a fundamental theory of physics that is a candidate for the theory of everything.

**Мультивселенная** • множество вселенных.

**Нейтрино** • чрезвычайно легкая элементарная частица, на которую воздействуют лишь слабое ядерное взаимодействие и гравитация.

**Нейтрон** • вид электрически нейтрального бариона, который вместе с протоном формирует атомное ядро.

**Безграничное условие** • необходимость того, чтобы истории Вселенной были замкнуты в безграничном пространстве.

**Фаза** • позиция в волновом цикле.

**Фотон** • бозон, несущий электромагнитную энергию. Квантовая частица света.

**Вероятностная амплитуда** • в квантовой теории множество чисел, чьё взятое в квадрат абсолютное значение, даёт вероятность.

**Протон** • тип положительно заряженного бариона, который вместе с нейтроном формирует атомное ядро.

**Multiverse** • a set of universes.

**Neutrino** • an extremely light elementary particle that is affected only by the weak nuclear force and gravity.

**Neutron** • a type of electrically neutral baryon that with the proton forms the nucleus of an atom.

**No-boundary condition** • the requirement that the histories of the universe are closed surfaces without a boundary.

**Phase** • a position in the cycle of a wave.

**Photon** • a boson that carries the electromagnetic force. A quantum particle of light.

**Probability amplitude** • in a quantum theory, a complex number whose absolute value squared gives a probability.

**Proton** • a type of positively charged baryon that with the neutron forms the nucleus of an atom.



**Квантовая теория** • теория, в которой объекты не имеют единственной определённой истории.

**Кварк** • элементарная частица, с незначительным электрическим зарядом, на которую воздействует большая энергия. Протон и нейтрон, каждый состоят из трёх кварков.

**Ренормализация** • математическая техника, разработанная, чтобы придать смысл бесконечностям, возникающим в квантовых теориях.

**Сингулярность** • точка пространства-времени, в которой физическая величина становится бесконечной.

**Пространство-время** • математическое пространство, чьи точки должны быть определены координатами и пространства и времени.

**Теория струн** • физическая теория, в которой частицы описаны как формы вибрации, имеющей длину, но не высоту или ширину -- как бесконечно тонкий отрезок струны.

**Сильное ядерное взаимодействие** • сильнейшая

**Quantum theory** • a theory in which objects do not have single definite histories.

**Quark** • an elementary particle with a fractional electric charge that feels the strong force. Protons and neutrons are each composed of three quarks.

**Renormalization** • a mathematical technique designed to make sense of infinities that arise in quantum theories.

**Singularity** • a point in space-time at which a physical quantity becomes infinite.

**Space-time** • a mathematical space whose points must be specified by both space and time coordinates.

**String theory** • a theory of physics in which particles are described as patterns of vibration that have length but no height or width—like infinitely thin pieces of string.

**Strong nuclear force** • the strongest of the

из четырёх сил природы. Эта сила держит протоны и нейтроны внутри атомного ядра. Также, она держит сами протоны и нейтроны вместе, что необходимо, так как они состоят из более малых частиц - кварков.

**Супергравитация** • теория гравитации, содержащая подобие симметрии, называемое суперсимметрией.

**Суперсимметрия** • особый вид симметрии, не связанный с преобразованием обычного пространства. Одними из важнейших значений суперсимметрии являются энергия частиц и материя частиц, и следовательно энергия и материя есть две стороны одной медали.

**Подход "от общего к частному" (подход "сверху вниз")** • подход в космологии, в котором кто-нибудь отслеживает истории Вселенной "сверху вниз", т.е. в обратном направлении от настоящего времени.

**Слабое ядерное взаимодействие** • одна из четырёх сил природы. Слабое взаимодействие в ответе за радиоактивность и играет жизненно важную роль в формировании

four forces of nature. This force holds the protons and neutrons inside the nucleus of an atom. It also holds together the protons and neutrons themselves, which is necessary because they are made of still tinier particles, quarks.

**Supergravity** • a theory of gravity that has a kind of symmetry called supersymmetry.

**Supersymmetry** • a subtle kind of symmetry that cannot be associated with a transformation of ordinary space. One of the important implications of supersymmetry is that force particles and matter particles, and hence force and matter, are really just two facets of the same thing.

**Top-down approach** • the approach to cosmology in which one traces the histories of the universe from the "top down," that is, backward from the present time.

**Weak nuclear force** • one of the four forces of nature. The weak force is responsible for radioactivity and plays a vital role in the formation

элементов в звёздах и ранней Вселенной.

of the elements in stars and the early universe.

## БЛАГОДАРНОСТИ

ЗАМЫСЕЛ ЕСТЬ У ВСЕЛЕННОЙ, есть он и у книги. Но в отличие от Вселенной, книга не возникает просто так из ничего. Книге нужен создатель, и эта ответственность ложится не только на плечи её авторов. Так что в первую и главную очередь, нам бы хотелось выразить благодарность и признательность нашим редакторам: Бет Рашбаум и Энн Харрис за их практически бесконечное терпение. Они были нам учениками, когда нам были нужны ученики, учителями, когда нужны были учителя и подгоняли нас, когда нужно было подгонять. Они держались оригинала, сохраняя при этом чувство юмора, вне зависимости от того шла ли речь о постановке запятой или о невозможности рассмотрения отрицательного искривления поверхности, симметричного относительно оси в двумерном пространстве. Ещё нам бы хотелось поблагодарить Марка Хиллери, который любезно прочёл большую часть текста и внёс ценные замечания; Кэрол Ловенштайн, которая очень помогла с дизайном; Дэвида Стивенсона, сделавшего от начала и до конца обложку и Лорен Новэк, чьё внимание к деталям

## ACKNOWLEDGMENTS

THE UNIVERSE HAS A DESIGN, and so does a book. But unlike the universe, a book does not appear spontaneously from nothing. A book requires a creator, and that role does not fall solely on the shoulders of its authors. So first and foremost we'd like to acknowledge and thank our editors, Beth Rashbaum and Ann Harris, for their near-infinite patience. They were our students when we required students, our teachers when we required teachers, and our prodders when we required prodding. They stuck with the manuscript, and did it in good cheer, whether the discussion centered around the placement of a comma or the impossibility of embedding a negative curvature surface axisymmetrically in flat space. We'd also like to thank Mark Hillery, who kindly read much of the manuscript and provided valuable input; Carole Lowenstein, who did so much to help with the interior design; David Stevenson, who guided the cover to completion; and Loren Noveck, whose attention to detail has



уберегло нас от опечаток, которых бы нам не хотелось увидеть напечатанными на бумаге. Питеру Боллингеру: огромная благодарность за то, что привнесли искусство в науку своими иллюстрациям, и за ваше усердие в проверке точности каждой мелочи. И Сидни Харрис: спасибо за замечательные мультики и величайшую чуткость к проблемам, с которыми сталкиваются учёные. В другой Вселенной вы могли бы быть физиком. Также мы признательны нашим агентам: Элу Цукерману и Сьюзан Гинзбург за их помощь и поддержку. Если выбирать две их самые частоповторяемые фразы, то ими были бы "Пора бы уже и закончить книгу" и "Не беспокойся о том, когда закончишь, в конце концов это случится." У них хватало мудрости, чтобы знать когда и что сказать. И наконец, наши благодарности персональному ассистенту Стивена - Юдит Крозделл; и помогавшим ему с компьютером Сэму Блэкборну и Джоан Годвин. Они не только помогали морально, но физически и технически, без чего нам бы не удалось написать эту книгу. И более того, они всегда знали лучшие пабы.

saved us from some typos we would not like to have seen committed to print. To Peter Bollinger: much gratitude for bringing art to science in your illustrations, and for your diligence in ensuring the accuracy of every detail. And to Sidney Harris: Thank you for your wonderful cartoons, and your great sensitivity to the issues facing scientists. In another universe, you could have been a physicist. We are also grateful to our agents, Al Zuckerman and Susan Ginsburg, for their support and encouragement. If there are two messages they consistently provided, they were "It's time to finish the book already," and "Don't worry about when you'll finish, you'll get there eventually." They were wise enough to know when to say which. And finally, our thanks to Stephen's personal assistant, Judith Croasdel; his computer aide, Sam Blackburn; and Joan Godwin. They provided not just moral support, but practical and technical support without which we could not have written this book. Moreover, they always knew where to find the best pubs.

ЕСЛИ ВЫ ПОНИМАЕТЕ ЭТИ ТЕРМИНЫ, ТО  
МОГЛИ БЫ ПОПРОБОВАТЬ ПРОЧИТАТЬ  
КНИГУ В ОРИГИНАЛЕ:

Air, discovery of  
*Almagest* (Ptolemy)  
Alternative histories. *See also* Quantum  
physics/quantum theory  
Feynman diagrams and  
Feynman's sum over histories and  
the past and  
quantum vs. Newtonian worlds and  
universe and  
Anaximander  
Anthropic principle  
strong anthropic principle  
weak anthropic principle  
Antimatter  
Anti-quarks (pi mesons)  
Anti-realists  
Apparent laws of nature  
Aquinas, Thomas  
Archimedes  
Aristarchus  
Aristotle

INDEX

Air, discovery of  
*Almagest* (Ptolemy)  
Alternative histories. *See also* Quantum  
physics/quantum theory  
Feynman diagrams and  
Feynman's sum over histories and  
the past and  
quantum vs. Newtonian worlds and  
universe and  
Anaximander  
Anthropic principle  
strong anthropic principle  
weak anthropic principle  
Antimatter  
Anti-quarks (pi mesons)  
Anti-realists  
Apparent laws of nature  
Aquinas, Thomas  
Archimedes  
Aristarchus  
Aristotle

creation as deliberate design  
four-element theory  
on no exceptions to natural laws  
rate of falling objects theory  
reason for principles of nature  
use of reason instead of observation  
Asymptotic freedom  
Atomism  
Atoms  
hydrogen, Lamb shift and  
quarks, protons, and neutrons  
strong nuclear force and  
Augustine of Hippo, St.

Babylonians  
Baryon  
Berkeley, George  
Beryllium  
Big bang theory  
CMBR and  
evidence of  
irregular universe and inflation  
as spontaneous quantum event  
when it happened

creation as deliberate design  
four-element theory  
on no exceptions to natural laws  
rate of falling objects theory  
reason for principles of nature  
use of reason instead of observation  
Asymptotic freedom  
Atomism  
Atoms  
hydrogen, Lamb shift and  
quarks, protons, and neutrons  
strong nuclear force and  
Augustine of Hippo, St.

Babylonians  
Baryon  
Berkeley, George  
Beryllium  
Big bang theory  
CMBR and  
evidence of  
irregular universe and inflation  
as spontaneous quantum event  
when it happened

Black hole  
Boshongo people  
Boson  
Brain  
laws of science and  
model building of  
Buckyballs  
buckyball soccer  
particle paths  
Buoyancy, law of

*Caenorhabditis elegans*

Carbon  
as basis for life  
creation of, in primordial universe  
triple alpha process and  
in universe  
Carroll, John W.  
Cathode rays  
CERN, Geneva  
Chemistry  
Chinese philosophy and mythology  
God as Creator  
tale of the ten suns

Black hole  
Boshongo people  
Boson  
Brain  
laws of science and  
model building of  
Buckyballs  
buckyball soccer  
particle paths  
Buoyancy, law of

*Caenorhabditis elegans*

Carbon  
as basis for life  
creation of, in primordial universe  
triple alpha process and  
in universe  
Carroll, John W.  
Cathode rays  
CERN, Geneva  
Chemistry  
Chinese philosophy and mythology  
God as Creator  
tale of the ten suns



Christianity  
creation as deliberate design  
John XXI's list of heresies, science and miracles  
natural laws as obedient to God  
notion of free will and purpose  
Ptolemaic model adopted by Roman Catholic Church  
rejection of indifferent natural laws  
Roman Catholic Church acknowledges wrong to Galileo  
Clepsydra  
Conway, John  
Copernicus  
Corpuscle theory  
Cosmic microwave background radiation (CMBR)  
evidence of inflation and  
Cosmological constant  
Cosmology. *See also* Universe  
"bottom up" approach  
grand design and  
laws of nature as "fine-tuned"  
number of dimensions in the universe

Christianity  
creation as deliberate design  
John XXI's list of heresies, science and miracles  
natural laws as obedient to God  
notion of free will and purpose  
Ptolemaic model adopted by Roman Catholic Church  
rejection of indifferent natural laws  
Roman Catholic Church acknowledges wrong to Galileo  
Clepsydra  
Conway, John  
Copernicus  
Corpuscle theory  
Cosmic microwave background radiation (CMBR)  
evidence of inflation and  
Cosmological constant  
Cosmology. *See also* Universe  
"bottom up" approach  
grand design and  
laws of nature as "fine-tuned"  
number of dimensions in the universe

predictions in  
“top down” approach  
Crater Lake, Oregon  
Creation. *See also* Life; Universe  
account in Genesis  
big bang theory  
empirical evidence of  
God as Creator  
as godless  
of life  
M-theory and  
myths  
origin of the universe  
spontaneous quantum creation of the universe  
Curvature/curved spaces  
geodesics  
great circle

Darwin, Charles  
Davisson, Clinton  
Davy, Sir Humphrey  
Delayed-choice experiments  
Democritus  
*De revolutionibus orbium coelestium* (On the

predictions in  
“top down” approach  
Crater Lake, Oregon  
Creation. *See also* Life; Universe  
account in Genesis  
big bang theory  
empirical evidence of  
God as Creator  
as godless  
of life  
M-theory and  
myths  
origin of the universe  
spontaneous quantum creation of the universe  
Curvature/curved spaces  
geodesics  
great circle

Darwin, Charles  
Davisson, Clinton  
Davy, Sir Humphrey  
Delayed-choice experiments  
Democritus  
*De revolutionibus orbium coelestium* (On the

*Revolutions of the Celestial Spheres* [Copernicus])

Descartes, René

Dicke, Robert

Double-slit experiment

buckyball soccer

delayed-choice experiments

Feynman's insight

particle paths

two-slit soccer

"which-path" information

Dualities

Earth

as center of the universe

cessation of rotation

Copernican model and  
creation

curvature of, and geodesics

eclipse and

ether (luminiferous ether) and

gravity and

as hospitable to life

laws of nature and

*Revolutions of the Celestial Spheres* [Copernicus])

Descartes, René

Dicke, Robert

Double-slit experiment

buckyball soccer

delayed-choice experiments

Feynman's insight

particle paths

two-slit soccer

"which-path" information

Dualities

Earth

as center of the universe

cessation of rotation

Copernican model and  
creation

curvature of, and geodesics

eclipse and

ether (luminiferous ether) and

gravity and

as hospitable to life

laws of nature and

Mercator projection, world map  
orbit  
planetary system of  
Ptolemaic model and  
seasonal weather patterns  
speed of  
Eccentricity of elliptical orbits  
Eclipse (lunar or solar)  
prediction of  
Economics  
Eddington, Arthur  
Effective theory  
Egyptian creation myth  
Einstein, Albert  
cosmological constant  
on creation of the universe  
expanding universe and  
general relativity  
photoelectric effect  
special relativity  
on time  
on unified theory  
on the universe  
Einstein's theory of relativity

Mercator projection, world map  
orbit  
planetary system of  
Ptolemaic model and  
seasonal weather patterns  
speed of  
Eccentricity of elliptical orbits  
Eclipse (lunar or solar)  
prediction of  
Economics  
Eddington, Arthur  
Effective theory  
Egyptian creation myth  
Einstein, Albert  
cosmological constant  
on creation of the universe  
expanding universe and  
general relativity  
photoelectric effect  
special relativity  
on time  
on unified theory  
on the universe  
Einstein's theory of relativity



general relativity  
GPS satellite navigation systems and general relativity  
space-time and general relativity  
special relativity  
Electromagnetic force  
bosons and  
electroweak force and  
light and  
Maxwell's equations  
QED and  
speed of electromagnetic waves  
Electrons  
double-slit experiment and  
Feynman diagrams and  
particle paths  
Electroweak force  
three new particles discovered  
Elegance, of models  
Empedocles  
Energy  
constant zero  
of empty space  
of universe

general relativity  
GPS satellite navigation systems and general relativity  
space-time and general relativity  
special relativity  
Electromagnetic force  
bosons and  
electroweak force and  
light and  
Maxwell's equations  
QED and  
speed of electromagnetic waves  
Electrons  
double-slit experiment and  
Feynman diagrams and  
particle paths  
Electroweak force  
three new particles discovered  
Elegance, of models  
Empedocles  
Energy  
constant zero  
of empty space  
of universe

Epicurus  
Ether (luminiferous ether)  
Euclid  
Evolution

Faraday, Michael  
Fermion  
Feynman, Richard (Dick)  
Feynman diagrams  
Feynman paths  
QED and  
sum over histories  
van owned by  
FitzGerald, George Francis  
Force fields  
bosons  
fermions  
Fowler, William  
Free will  
Friedmann, Alexander  
Fuller, Buckminster

Galaxies  
alternative histories and

Epicurus  
Ether (luminiferous ether)  
Euclid  
Evolution

Faraday, Michael  
Fermion  
Feynman, Richard (Dick)  
Feynman diagrams  
Feynman paths  
QED and  
sum over histories  
van owned by  
FitzGerald, George Francis  
Force fields  
bosons  
fermions  
Fowler, William  
Free will  
Friedmann, Alexander  
Fuller, Buckminster

Galaxies  
alternative histories and

cosmological constant and  
expanding universe and  
heavy elements and formation of

inhomogeneities in universe and  
light from distant  
number of and stars in  
planetary systems of  
quantum fluctuations and formation of  
Galileo  
rate of falling objects theory  
Game of Life  
blinkers  
evolution of a still life  
glider guns  
gliders  
still-life blocks  
Geodesics  
Germer, Lester  
God (or gods)  
as causal in nature  
creation and  
as dice-thrower  
first-cause argument

cosmological constant and  
expanding universe and  
heavy elements and formation of

inhomogeneities in universe and  
light from distant  
number of and stars in  
planetary systems of  
quantum fluctuations and formation of  
Galileo  
rate of falling objects theory  
Game of Life  
blinkers  
evolution of a still life  
glider guns  
gliders  
still-life blocks  
Geodesics  
Germer, Lester  
God (or gods)  
as causal in nature  
creation and  
as dice-thrower  
first-cause argument

Joshua praying for the sun and moon to halt  
as mathematician  
natural laws, human statues and  
natural laws and  
Newton's belief in God's intervention  
universe as God's dollhouse  
what happened before the world existed?  
Grand design  
laws of nature as "fine-tuned" and  
no-boundary condition and  
Grand unified theories (GUTS)  
Gravitational waves  
Gravity  
cosmological constant  
cosmological constant and  
creation of stars, galaxies, planets  
effective theory and  
Einstein's general relativity and  
galaxies and  
mathematical formulation of theory  
M-theory and  
Newton's law of  
orbits and three dimensions  
quantum theory and

Joshua praying for the sun and moon to halt  
as mathematician  
natural laws, human statues and  
natural laws and  
Newton's belief in God's intervention  
universe as God's dollhouse  
what happened before the world existed?  
Grand design  
laws of nature as "fine-tuned" and  
no-boundary condition and  
Grand unified theories (GUTS)  
Gravitational waves  
Gravity  
cosmological constant  
cosmological constant and  
creation of stars, galaxies, planets  
effective theory and  
Einstein's general relativity and  
galaxies and  
mathematical formulation of theory  
M-theory and  
Newton's law of  
orbits and three dimensions  
quantum theory and



as shaper of space-time  
standard model not applicable  
supergravity theory  
warping of time and space by  
as weak force  
Great circle  
Greece, ancient  
distinction between human and natural laws  
lacking  
Ionian science  
laws of nature and  
questions of creation and  
scientific method lacking  
Stoics  
“Grimnismal” (*The Elder Edda*)

Harris, Sidney, cartoons by  
Heisenberg, Werner  
Heisenberg uncertainty principle  
empty space, impossibility of, and  
Planck's constant  
Helium  
big bang theory and  
creation of beryllium, carbon, and

as shaper of space-time  
standard model not applicable  
supergravity theory  
warping of time and space by  
as weak force  
Great circle  
Greece, ancient  
distinction between human and natural laws  
lacking  
Ionian science  
laws of nature and  
questions of creation and  
scientific method lacking  
Stoics  
“Grimnismal” (*The Elder Edda*)

Harris, Sidney, cartoons by  
Heisenberg, Werner  
Heisenberg uncertainty principle  
empty space, impossibility of, and  
Planck's constant  
Helium  
big bang theory and  
creation of beryllium, carbon, and

in primordial universe  
Heraclitus  
*Hitchhiker's Guide to the Galaxy*  
Holographic principle  
Hoyle, Fred  
Hubble, Edwin  
Humans. *See also* Life  
creation of, Biblical  
definition of living beings  
existence relative to cosmic history  
free will and  
natural laws and  
origins of *homo sapiens*  
psychology as study of will and behavior  
robot vs.  
self-awareness  
soul of  
written language and cultivation begun  
Hume, David  
Hydrogen  
fusion, in stars  
isotopes  
Lamb shift and  
in primordial universe

in primordial universe  
Heraclitus  
*Hitchhiker's Guide to the Galaxy*  
Holographic principle  
Hoyle, Fred  
Hubble, Edwin  
Humans. *See also* Life  
creation of, Biblical  
definition of living beings  
existence relative to cosmic history  
free will and  
natural laws and  
origins of *homo sapiens*  
psychology as study of will and behavior  
robot vs.  
self-awareness  
soul of  
written language and cultivation begun  
Hume, David  
Hydrogen  
fusion, in stars  
isotopes  
Lamb shift and  
in primordial universe

Inertia, law of  
Inflation theory  
irregular universe and  
“Initial conditions”  
Intelligent design  
Interference  
constructive  
destructive  
double-slit experiment  
Newton’s rings and  
puddle interference  
“which-path” information and  
Young’s experiment and  
Ionian science

Johnson, Samuel  
John XXI, Pope

Kelvin, William Thomson, Lord  
Kepler, Johannes  
Klamath Indians

Lamb shift

Inertia, law of  
Inflation theory  
irregular universe and  
“Initial conditions”  
Intelligent design  
Interference  
constructive  
destructive  
double-slit experiment  
Newton’s rings and  
puddle interference  
“which-path” information and  
Young’s experiment and  
Ionian science

Johnson, Samuel  
John XXI, Pope

Kelvin, William Thomson, Lord  
Kepler, Johannes  
Klamath Indians

Lamb shift

Laplace, Pierre-Simon, marquis de  
Large Hadron Collider, Geneva  
Law of the lever  
Laws of nature  
ancient Greece and  
apparent laws  
Aristotle's errors  
changing conception of  
dependent on history of the universe  
Descartes and  
electric and magnetic forces  
energy and  
exceptions to (i.e., miracles)  
as fine-tuned  
first recognition of  
four classes of known forces  
Galileo and  
generalizations vs.  
God and  
grand design  
gravity, as first in mathematical language  
humans governed by  
initial conditions and  
Ionian science

Laplace, Pierre-Simon, marquis de  
Large Hadron Collider, Geneva  
Law of the lever  
Laws of nature  
ancient Greece and  
apparent laws  
Aristotle's errors  
changing conception of  
dependent on history of the universe  
Descartes and  
electric and magnetic forces  
energy and  
exceptions to (i.e., miracles)  
as fine-tuned  
first recognition of  
four classes of known forces  
Galileo and  
generalizations vs.  
God and  
grand design  
gravity, as first in mathematical language  
humans governed by  
initial conditions and  
Ionian science



mathematical formulation of  
mathematical formulation of, first  
modern concept of  
modern definition  
M-theory and  
origin of  
quantum physics and  
rejection of indifferent  
soul exempt from  
strong anthropic principle and  
uniqueness of  
uniqueness of (one set of)  
Lemaître, Georges  
Lieh Yü-K'ou  
Life  
carbon-based life-form  
creation of  
definition of living beings  
environmental conditions for  
existence of  
fundamental constants as fine-tuned  
God as Creator  
Goldilocks zone and  
intelligent

mathematical formulation of  
mathematical formulation of, first  
modern concept of  
modern definition  
M-theory and  
origin of  
quantum physics and  
rejection of indifferent  
soul exempt from  
strong anthropic principle and  
uniqueness of  
uniqueness of (one set of)  
Lemaître, Georges  
Lieh Yü-K'ou  
Life  
carbon-based life-form  
creation of  
definition of living beings  
environmental conditions for  
existence of  
fundamental constants as fine-tuned  
God as Creator  
Goldilocks zone and  
intelligent

multiverse concept and  
solar system conditions and  
strong anthropic principle  
theory of evolution  
Ultimate Question of Life, the Universe, and  
Everything  
weak anthropic principle and  
Light  
electromagnetism and  
interference  
Michelson-Morley experiment  
Newton's theory of (particle/corpuscle theory)  
photoelectric effect  
polarized  
refraction  
speed of  
theory of special relativity and  
wavelength and  
wave/particle duality  
wave theory  
Young's experiment  
Lithium  
in primordial universe  
Lorentz, Hendrick Antoon

multiverse concept and  
solar system conditions and  
strong anthropic principle  
theory of evolution  
Ultimate Question of Life, the Universe, and  
Everything  
weak anthropic principle and  
Light  
electromagnetism and  
interference  
Michelson-Morley experiment  
Newton's theory of (particle/corpuscle theory)  
photoelectric effect  
polarized  
refraction  
speed of  
theory of special relativity and  
wavelength and  
wave/particle duality  
wave theory  
Young's experiment  
Lithium  
in primordial universe  
Lorentz, Hendrick Antoon

Mathematics  
development of  
laws of nature phrased in  
*Matrix, The* (film)  
Maxwell, James Clerk  
Mayan people  
Mercator projection, world map  
Mercury  
Meson  
Michelson, Albert  
Miracles  
Model-dependent realism  
dualities and  
four points of a good model  
Game of Life and  
meaning of existence and  
M-theory and  
quarks and  
subatomic particles and  
vision and  
what happened before the world existed?  
Monza, Italy  
Moon

Mathematics  
development of  
laws of nature phrased in  
*Matrix, The* (film)  
Maxwell, James Clerk  
Mayan people  
Mercator projection, world map  
Mercury  
Meson  
Michelson, Albert  
Miracles  
Model-dependent realism  
dualities and  
four points of a good model  
Game of Life and  
meaning of existence and  
M-theory and  
quarks and  
subatomic particles and  
vision and  
what happened before the world existed?  
Monza, Italy  
Moon

eclipse of  
as gravitational bound system (with earth)  
gravity and orbit of  
in myth  
of other planets  
Morley, Edward  
M-theory  
eleven space-time dimensions of  
as grand design  
multiple universes and  
p-branes  
“why M-theory”  
Multiverse concept. *See also* Universe

Napoleon Bonaparte  
Neutrino  
Neutron  
Newton, Isaac  
God as Creator and  
theories of, limitations  
Newton's law of gravity  
Newton's laws of motion  
earth's rotation and  
macroscopic objects and

eclipse of  
as gravitational bound system (with earth)  
gravity and orbit of  
in myth  
of other planets  
Morley, Edward  
M-theory  
eleven space-time dimensions of  
as grand design  
multiple universes and  
p-branes  
“why M-theory”  
Multiverse concept. *See also* Universe

Napoleon Bonaparte  
Neutrino  
Neutron  
Newton, Isaac  
God as Creator and  
theories of, limitations  
Newton's law of gravity  
Newton's laws of motion  
earth's rotation and  
macroscopic objects and

“the past” and  
planetary orbits and  
Newton’s rings  
No-boundary condition  
Norse mythology

Ørsted, Hans Christian

P-brane  
Phase  
Photoelectric effect  
Photon  
delayed-choice experiments  
Feynman diagrams and  
Physics, classical  
Archimedes and  
Aristotle and  
picture of the universe  
shortcomings for atomic and subatomic scales  
of existence  
Physics, modern. *See also* Quantum  
physics/quantum theories  
Feynman diagrams, importance of  
theoretical

“the past” and  
planetary orbits and  
Newton’s rings  
No-boundary condition  
Norse mythology

Ørsted, Hans Christian

P-brane  
Phase  
Photoelectric effect  
Photon  
delayed-choice experiments  
Feynman diagrams and  
Physics, classical  
Archimedes and  
Aristotle and  
picture of the universe  
shortcomings for atomic and subatomic scales  
of existence  
Physics, modern. *See also* Quantum  
physics/quantum theories  
Feynman diagrams, importance of  
theoretical



Planck's constant  
Plato  
Pope, Alexander  
Principle of mediocrity  
Probability amplitude  
Protons  
GUTS and  
rate of decay (lifetime)  
Psychology  
Ptolemy  
Pythagoras

Quantum chromodynamics (QCD)  
asymptotic freedom and  
Quantum electrodynamics (QED)  
Feynman diagrams  
Lamb shift and  
renormalization and  
sum over histories and  
Quantum fluctuations  
Quantum jitters  
Quantum physics/quantum theory  
alternative histories  
atomic, subatomic scales, and

Planck's constant  
Plato  
Pope, Alexander  
Principle of mediocrity  
Probability amplitude  
Protons  
GUTS and  
rate of decay (lifetime)  
Psychology  
Ptolemy  
Pythagoras

Quantum chromodynamics (QCD)  
asymptotic freedom and  
Quantum electrodynamics (QED)  
Feynman diagrams  
Lamb shift and  
renormalization and  
sum over histories and  
Quantum fluctuations  
Quantum jitters  
Quantum physics/quantum theory  
alternative histories  
atomic, subatomic scales, and

buckyball experiment and  
    determinism and  
    double-slit experiment  
    for electromagnetism (*see also* quantum  
    electrodynamics)  
    electroweak force  
    Feynman paths  
    Feynman's sum over histories  
    of forces  
    four classes of known forces  
    gravity, problem of  
    larger objects and  
    observation of system, and alteration of course  
    origin of universe as quantum event  
    "the past" and  
    Planck's constant  
    principles of  
    principles of, and reality  
    probabilities and  
    probability amplitude  
    quantum chromodynamics (QCD)  
    quantum superposition  
    testing theories  
    uncertainty principle

    buckyball experiment and  
    determinism and  
    double-slit experiment  
    for electromagnetism (*see also* quantum  
    electrodynamics)  
    electroweak force  
    Feynman paths  
    Feynman's sum over histories  
    of forces  
    four classes of known forces  
    gravity, problem of  
    larger objects and  
    observation of system, and alteration of course  
    origin of universe as quantum event  
    "the past" and  
    Planck's constant  
    principles of  
    principles of, and reality  
    probabilities and  
    probability amplitude  
    quantum chromodynamics (QCD)  
    quantum superposition  
    testing theories  
    uncertainty principle

wave/particle duality  
Quantum superposition  
Quarks  
asymptotic freedom  
baryons and  
colors  
mesons and  
QCD and

Realism  
Reality. *See also* Model-dependent realism  
anti-realists  
classical picture of objective existence  
five-dimensional space-time  
goldfish bowl example  
holographic principle  
law of nature and  
model-dependent realism  
multiple histories  
objective, question of existence of  
“the past” and  
Ptolemaic model of  
quantum physics and  
realists

wave/particle duality  
Quantum superposition  
Quarks  
asymptotic freedom  
baryons and  
colors  
mesons and  
QCD and

Realism  
Reality. *See also* Model-dependent realism  
anti-realists  
classical picture of objective existence  
five-dimensional space-time  
goldfish bowl example  
holographic principle  
law of nature and  
model-dependent realism  
multiple histories  
objective, question of existence of  
“the past” and  
Ptolemaic model of  
quantum physics and  
realists

simulated or alternative  
Reference frames  
Reflection, law of  
Renormalization  
Resonance

Salam, Abdus  
Schönborn, Christoph  
Scientific determinism  
Scientific method  
Second Life  
Singularity  
Soul  
pineal gland as seat of  
Space  
curvature/curved spaces  
planetary orbits and three dimensions  
straws and lines  
three dimensions of  
warpage by matter and energy  
Space-time  
cosmological constant  
as curved and distorted  
as fourth dimension

simulated or alternative  
Reference frames  
Reflection, law of  
Renormalization  
Resonance

Salam, Abdus  
Schönborn, Christoph  
Scientific determinism  
Scientific method  
Second Life  
Singularity  
Soul  
pineal gland as seat of  
Space  
curvature/curved spaces  
planetary orbits and three dimensions  
straws and lines  
three dimensions of  
warpage by matter and energy  
Space-time  
cosmological constant  
as curved and distorted  
as fourth dimension

M-theory's eleven dimensions  
string theory's ten dimensions  
warpage by gravity  
Standard model  
Stars. *See also* Sun  
explosions (supernova)  
mass  
Stoics  
Straus, Ernst  
Strings, law of  
String theory  
internal space  
ten dimensions in  
Strong anthropic principle  
Strong nuclear force  
QCD and  
Sum over histories  
multiverse concept and  
Sun  
Aristarchus and  
as center of earth's planetary system  
governed by fixed laws  
life on earth and  
in myth

M-theory's eleven dimensions  
string theory's ten dimensions  
warpage by gravity  
Standard model  
Stars. *See also* Sun  
explosions (supernova)  
mass  
Stoics  
Straus, Ernst  
Strings, law of  
String theory  
internal space  
ten dimensions in  
Strong anthropic principle  
Strong nuclear force  
QCD and  
Sum over histories  
multiverse concept and  
Sun  
Aristarchus and  
as center of earth's planetary system  
governed by fixed laws  
life on earth and  
in myth



solar eclipse  
strong nuclear force and  
three dimensional space and  
wavelengths of radiation  
Supergravity theory  
Supernova  
Supersymmetry  
Symmetry  
System  
observation of, and alteration of course

Tempier of Paris, Bishop  
Thales of Miletus  
Theory of everything. *See also* Feynman,  
Richard (Dick); M-theory  
electroweak force  
grand unified theories (GUTS)  
gravity, problem of  
M-theory  
quantum chromodynamics (QCD)  
quantum electrodynamics (QED)  
standard model  
string theory  
Theory of relativity. *See* Einstein's theory of

solar eclipse  
strong nuclear force and  
three dimensional space and  
wavelengths of radiation  
Supergravity theory  
Supernova  
Supersymmetry  
Symmetry  
System  
observation of, and alteration of course

Tempier of Paris, Bishop  
Thales of Miletus  
Theory of everything. *See also* Feynman,  
Richard (Dick); M-theory  
electroweak force  
grand unified theories (GUTS)  
gravity, problem of  
M-theory  
quantum chromodynamics (QCD)  
quantum electrodynamics (QED)  
standard model  
string theory  
Theory of relativity. *See* Einstein's theory of

relativity

Thomson, J. J.

Time. *See also* Space-time

beginning of

clock in airplane experiment

special theory of relativity and

time dilation

warpage of

Triple alpha process

Ultimate Question of Life, the Universe, and Everything. *See also* Grand design

Ultimate theory of everything. *See* Theory of everything

Uncertainty principle. *See* Heisenberg uncertainty principle

Unified theory. *See* Theory of everything

Universe. *See also* Creation; Life

age of

alternative histories of

ancient interpretations and celestial predictions

balloon universe analogy

big bang theory

binary star systems

relativity

Thomson, J. J.

Time. *See also* Space-time

beginning of

clock in airplane experiment

special theory of relativity and

time dilation

warpage of

Triple alpha process

Ultimate Question of Life, the Universe, and Everything. *See also* Grand design

Ultimate theory of everything. *See* Theory of everything

Uncertainty principle. *See* Heisenberg uncertainty principle

Unified theory. *See* Theory of everything

Universe. *See also* Creation; Life

age of

alternative histories of

ancient interpretations and celestial predictions

balloon universe analogy

big bang theory

binary star systems

carbon content  
classical picture of  
CMBR and  
Copernican model of  
dimensions of  
earth as center of  
earth's planetary system  
eccentricity of elliptical orbits  
Einstein's general theory of relativity and  
elements in primordial  
empty space, impossibility of  
episode of inflation  
expanding model  
Feynman's sum over histories and  
gods as causal in  
as God's dollhouse  
grand design  
gravity and  
helium, lithium, and hydrogen in  
human-centered  
inflation theory  
inhomogeneities in  
laws of (*see also* Laws of nature)  
M-theory and

carbon content  
classical picture of  
CMBR and  
Copernican model of  
dimensions of  
earth as center of  
earth's planetary system  
eccentricity of elliptical orbits  
Einstein's general theory of relativity and  
elements in primordial  
empty space, impossibility of  
episode of inflation  
expanding model  
Feynman's sum over histories and  
gods as causal in  
as God's dollhouse  
grand design  
gravity and  
helium, lithium, and hydrogen in  
human-centered  
inflation theory  
inhomogeneities in  
laws of (*see also* Laws of nature)  
M-theory and

multiple (*see also* Multiverse concept)  
multiple-star systems  
no-boundary condition  
origin of  
phlogiston theory  
planetary orbits  
planetary systems of  
Ptolemaic model of  
rejection of indifferent natural laws  
size of  
size of our galaxy  
space-time warpage  
spontaneous quantum creation of  
stars  
static or steady-state theory  
Ultimate Question of Life, the Universe, and  
Everything  
Ussher, Bishop

Vacuum fluctuations  
Virtual particles  
Von Neumann, John

Wallace, Alfred Russel

multiple (*see also* Multiverse concept)  
multiple-star systems  
no-boundary condition  
origin of  
phlogiston theory  
planetary orbits  
planetary systems of  
Ptolemaic model of  
rejection of indifferent natural laws  
size of  
size of our galaxy  
space-time warpage  
spontaneous quantum creation of  
stars  
static or steady-state theory  
Ultimate Question of Life, the Universe, and  
Everything  
Ussher, Bishop

Vacuum fluctuations  
Virtual particles  
Von Neumann, John

Wallace, Alfred Russel

Wavelength  
radio waves  
visible  
X-rays  
Wave-particle duality  
Wave theory. *See also* Interference  
double-slit experiment  
Feynman's sum over histories and  
interference  
phase  
Weak anthropic principle  
Weak nuclear force  
quantum field theory of  
Weinberg, Steven  
Wheeler, John  
"Which-path" information

Young, Thomas

"Zur Elektrodynamik bewegter Körper" ("On  
the Electrodynamics of Moving Bodies"  
[Einstein])  
Zwicky, Fritz

Wavelength  
radio waves  
visible  
X-rays  
Wave-particle duality  
Wave theory. *See also* Interference  
double-slit experiment  
Feynman's sum over histories and  
interference  
phase  
Weak anthropic principle  
Weak nuclear force  
quantum field theory of  
Weinberg, Steven  
Wheeler, John  
"Which-path" information

Young, Thomas

"Zur Elektrodynamik bewegter Körper" ("On  
the Electrodynamics of Moving Bodies"  
[Einstein])  
Zwicky, Fritz



## ОБ АВТОРАХ

СТИВЕН ХОКИНГ занимал должность Лукасианского Профессора Математики Кембриджского Университета на протяжении тридцати лет, и был удостоен многочисленных наград и премий, включая недавно полученную, Президентскую медаль Свободы. Среди его научно популярных книг такие как "Краткая история Времени", собрание эссе "Черные Дыры и Молодые Вселенные", "Мир в Ореховой Скорлупке" и "Кратчайшая История Времени".

ЛЕОНАРД МЛОДИНОВ - физик Калифорнийского Технологического Института, хорошо продаваемый автор книг "The Drunkard's Walk: How Randomness Rules Our Lives", "Euclid's Window: The Story of Geometry from Parallel Lines to Hyper space", "Feynman's Rainbow: A Search for Beauty in Physics and in Life" и "Кратчайшая История Времени". Он также написал "Star Trek: The Next Generation". Живет в Саут-Пасадина, Калифорния.

## ABOUT THE AUTHORS

STEPHEN HAWKING was the Lucasian Professor of Mathematics at the University of Cambridge for thirty years, and has been the recipient of numerous awards and honors including, most recently, the Presidential Medal of Freedom. His books for the general reader include the classic *A Brief History of Time*, the essay collection *Black Holes and Baby Universes*, *The Universe in a Nutshell*, and *A Briefer History of Time*.

LEONARD MLODINOW is a physicist at Caltech and the best-selling author of *The Drunkard's Walk: How Randomness Rules Our Lives*, *Euclid's Window: The Story of Geometry from Parallel Lines to Hyperspace*, *Feynman's Rainbow: A Search for Beauty in Physics and in Life*, and *A Briefer History of Time*. He also wrote for *Star Trek: The Next Generation*. He lives in South Pasadena, California.

