

Брайан ГРИН

МИРОВОЙ НАУЧНО-
ПОПУЛЯРНЫЙ БЕСТСЕЛЛЕР

Грин затрагивает потрясающее количество тем, излагая их простым и ясным языком без математических выкладок и технических подробностей...

Это образец научного повествования...

Трудно не заразиться хоть отчасти его энтузиазмом и возбуждением

The Philadelphia Inquirer



Египетская ВСЕЛЕННАЯ

Суперструны,
скрытые размерности
и поиски
окончательной
теории



**Выдержки из рецензий
на книгу Брайана Грина
«Элегантная Вселенная»**

Грин затрагивает потрясающее количество тем, излагая их простым и ясным языком без математических выкладок и технических подробностей... Это образец научного повествования... Трудно не заразиться хоть отчасти его энтузиазмом и возбуждением.

The Philadelphia Inquirer

В высшей степени захватывающая книга... Грандиозный успех... Грин изложил теорию струн доступно и без формул; объяснил, почему струны так воодушевляют их приверженцев. Заслуга Грина в том, что мы почувствовали себя комфортно в холодно-абстрактном мире струн, и он убедил нас, что этот мир нужно принять серьезно.

Sunday Telegraph (London)

[Грин] пишет ясно и энергично, талантливо находя живые, часто веселые образы для абстрактных научных принципов. [Он] пишет со страстью человека, горящего желанием доказать справедливость теории суперструн, потому что он вдохновлен ее красотой.

Chicago Tribune

Содержательная и важная книга... *Элегантная Вселенная* рассказывает... о теории струн с ясностью и шармом. Это и личный рассказ, и история о грандиозном интеллектуальном движении.

Scientific American

Теория струн — самая захватывающая идея со времен, когда Стивен Хокинг заглянул внутрь черных дыр. [Грин] излагает ее так, что понять это может каждый.

San Francisco Chronicle

Грин проделал великолепную работу, изложив идею теории струн понятным языком. Это поразительно ясный и хорошо написанный рассказ об удивительных следствиях для структуры пространства-времени, вытекающих из теории.

New Scientist

Замечательная книга. Грин привнес захватывающую идею научных изысканий в реальную жизнь.

Nature

Книга Брайана Грина — самая последняя из низинанных на струну (простите!), которую изначально заставил звучать Стивен Хокинг, и к тому же самая лучшая.

London Morning Star

Метафоры Грина часто придают красоту и силу идеям, непостижимым другими способами. *Элегантная Вселенная* — стоящее чтение... Эйнштейн бы одобрил.

Discover Magazine

Брайан Грин сделал жутко сложную теорию струн доступной каждому. Он обладает поразительным талантом использовать обыденные образы для иллюстрации того, что может происходить в размерах, выходящих за рамки человеческого восприятия.

Publishers Weekly

Со времен необычайного успеха *Краткой истории времени* ни одна научная книга не привлекала такого внимания.

Sunday Times (London)

Брайан Грин заманивает читателя на передний край физики своей обворожительной прозой.

The Christian Science Monitor

Это — хорошо написанный отчет с переднего фронта физики и астрономии.

American Scientist

Грин обладает удивительным даром объяснять самые передовые научные идеи так, что каждый может оценить его свежий и пронзительный взгляд.

Astronomy Magazine

Элегантная Вселенная — выдающаяся книга, ставшая классикой научного объяснения. Со временем теория [струн] может повлиять на само наше понимание красоты.

The New York Times

Грин жаждет поделиться с широкой читательской аудиторией своим пониманием теории струн и выявить ее сильные стороны. И он действительно достигает этого, освещая историю и проблемы современной физики.

Science News

Невозможно оторваться от чтения *Элегантной Вселенной*. Грин грозит сделать для теории струн то, что Стивен Хокинг сделал для черных дыр.

New York

[Грин] пишет с поэтическим красноречием и вкусом. Достойна восхищения его работа по переводу чисто математических усилий в наглядные образы.

The Washington Post Book World

Излагает новые открытия одно за другим... Продолжая лучшие традиции ученых-физиков, пишущих для широкой аудитории, *Элегантная Вселенная* устанавливает стандарт, который будет трудно превзойти.

The New York Times Book Review

Brian Greene

THE ELEGANT UNIVERSE

Superstrings,
Hidden Dimensions,
and the Quest for
the Ultimate Theory

Vintage Books
A Division of Random House, Inc.
New York

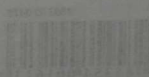
Брайан ГРИН

ЭЛЕГАНТНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Суперструны,
скрытые размерности
и поиски
окончательной теории

Перевод с английского
под общим руководством
академика РАН
С.С.Герштейна

Научный редактор
канд. физ.-мат. наук
В.О.Малышенко



Москва • 2004



УРСС



Настоящее издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 01-02-30054)

Брайан Грин

Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории.
Пер. с англ. / Общ. ред. В. О. Малышенко. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 288 с.

ISBN 5-354-00161-7

Книга Брайана Грина «Элегантная Вселенная» — увлекательнейшее путешествие по современной физике, которая как никогда ранее близка к пониманию того, как устроена Вселенная. Квантовый мир и теория относительности Эйнштейна, гипотеза Калуцы—Клейна и дополнительные измерения, теория суперструн и браны, Большой взрыв и мульти-вселенные — вот далеко не полный перечень обсуждаемых вопросов.

Используя ясные аналогии, автор переводит сложные идеи современной физики и математики на образы, понятные всем и каждому. Брайан Грин срывает завесу таинства с теории струн, чтобы представить миру 11-мерную Вселенную, в которой ткань пространства рвется и восстанавливается, а вся материя порождена вибрациями микроскопических струн.

Книга вызовет несомненный интерес как у специалистов естественно-научных дисциплин, так и у широкого круга читателей.

Редакторы: Александр Берков, Виктория Малышенко

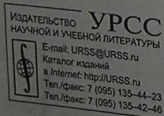
Издательство благодарит Анастасию Волович и Кирилла Сарайкина за ценные замечания, сделанные по прочтении перевода.

Издательство «Едиториал УРСС», 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 9.
Лицензия ИД № 05175 от 25.06.2001 г. Подписано к печати 24.12.2003 г.
Формат 70×100/16. Тираж 3000 экз. Печ. л. 18. Зак. № 9-23

Отпечатано в типографии ГУП ПИК «Идел-Пресс», 420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2.

ISBN 5-354-00161-7

- © 1999 by Brian R. Greene.
All rights reserved
- © Перевод на русский язык:
Едиториал УРСС, 2004
- © Оригинал-макет, оформление:
Едиториал УРСС, 2004



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, если на то нет письменного разрешения издательства.

С любовью и благодарностью
моей матери
и в память о моем отце

Предисловие

Последние тридцать лет своей жизни Альберт Эйнштейн провел в неустанный поиск так называемой единой теории поля — теории, которая смогла бы объединить все взаимодействия, существующие в природе, в единую, всеобъемлющую и непротиворечивую систему. Мотив, лежащий в основе его поиска, не был связан напрямую с тем, что мы обычно подразумеваем под научной деятельностью, например, с попыткой объяснить те или иные конкретные экспериментальные данные. Им двигала страстная вера в то, что достигнув глубочайшего понимания мироздания, мы сможем проникнуть в его самую сокровенную тайну — простоту и его самые принципы, лежащих в его основе. Эйнштейн хотел раскрыть устройство Вселенной с доселе неведомой ясностью, заставив нас заснуть в благоговейном изумлении перед ее совершенной красотой и элегантною.

Эйнштейн не смог осуществить своего мечты. Во многом из-за того, что путь закрывали объективные обстоятельства: в его время некоторые важные свойства материи и взаимодействия либо оставались неизвестными, либо, в лучшем случае, были не до конца осознаны. Однако в течение последнего полувека физики все новых и новых поколений, добиваясь успехов и терпя неудачи, временами попадая в тупики, продолжали, основываясь на открытиях своих предшественников, добиваться все более полного понимания принципов устройства мироздания. И вот теперь, спустя много лет после того, как Эйнштейн объявил о своем походе на поиски единой теории, из которого он вернулся с пустыми руками, физики считают, что они смогли наконец выработать теорию, связывающую все эти догадки в единое целое, — единую теорию, которая в принципе способна объяснить все явления. Эта теория, *теория суперструн*, и является предметом данной книги.

Я написал *Элегантную Вселенную* в попытке описать замечательные открытия, родившиеся на переднем крае физических исследований, и сделать их доступными широкому кругу читателей, особенно тем из них, кто не имеет достаточной подготовки в физике и математике. Читая в течение последних нескольких лет публичные лекции по теории суперструн, я стал свидетелем растущего стремления понять, что говорят современные исследования о фундаментальных законах мироздания, почему эти законы ведут к радикальному изменению наших представлений о Вселенной, какие проблемы остались нерешенными в нашем непрерывном поиске окончательной теории. Я надеюсь, что мои рассказы об основных достижениях, которых добились физики со времен Эйнштейна и Гейзенберга, и описание бурного прогресса, свидетелем которого мы стали на рубеже столетий, обогатят ваши знания и удовлетворят ваше любопытство.

Я также рассчитываю, что *Элегантная Вселенная* будет интересна читателям, имеющим определенную научную подготовку. Я надеюсь, что эта книга поможет студентам, изучающим естественные науки, и их преподавателям в понимании некоторых основополагающих положений современной физики, таких как специальная и общая теория относительности и квантовая механика, и, в то же время, сможет заразить их энтузиазмом исследователей, ведущих поиск долгожданной единой теории. Любителям научно-популярной литературы я попытался объяснить многие из удивительных достижений в понимании основ мироздания, которого учение добились в последнем десятилетии. Что касается моих коллег, работающих в других научных дисциплинах, я надеюсь, что эта книга даст им правдивое и взвешенное объяснение того, почему специалисты по теории струн испытывают такой энтузиазм в отно-

шении прогресса в поиске окончательной теории мироздания.

Теория суперструн забрасывает широкий невод в океан мироздания. Это обширная и глубокая теория, охватывающая многие важнейшие положения, играющие центральную роль в современной физике. Она объединяет законы макромира и микромира, действие которых распространяется в самые дальние дали космического пространства и на мельчайшие частицы материи; поэтому рассказать об этой теории можно по-разному. Я выбрал подход, позволяющий проследить эволюцию наших представлений о пространстве и времени. Мне кажется, что такой подход, показывающий, как возникали и развивались новые, удивительные представления, является особенно увлекательным. Эйнштейн показал миру, что пространство и время могут вести себя совершенно необычным образом. В наши дни исследования, ведущиеся на переднем крае науки, позволили применить открытия Эйнштейна к идее квантовой вселенной, имеющей многочисленные скрытые измерения. Эти измерения свернуты в крохотные петли, спрятанные в ткани мироздания, а их причудливая геометрия может содержать ответ на некоторые из самых глубоких вопросов, когда-либо ставившихся учеными. Хотя некоторые из новых понятий являются трудно уловимыми, мы увидим, что их суть можно понять с помощью вполне осозаемых аналогий. А будучи понятыми, эти идеи дадут совершенно иной, поразительный взгляд на нашу Вселенную.

На всем протяжении книги я старался оставаться как можно ближе к науке, пытаюсь в то же время дать читателю — часто через аналогию и метафору — интуитивное понимание того, как ученые выработали современные представления о Вселенной. Хотя я старался избегать специальной терминологии и уравнений, радикально новый характер излагаемых понятий может побудить читателя иногда сделать паузу и обдумать ту или иную главу либо объяснение, чтобы дальнейший материал был ему понятен. Некоторые главы IV части (посвященные самым последним достижениям) являются несколько более абстрактными, чем остальная часть

книги. Я позаботился о том, чтобы вовремя предупредить читателя об этом, и организовал текст так, чтобы такие главы могли быть прочитаны поверхностно или пропущены с минимальным ущербом для понимания материала, содержащегося в книге. Я включил в книгу словарь научных терминов, который позволит читателю быстро вспомнить идеи и понятия, введенные в основном тексте. Тот, кому эта книга попала в руки случайно, возможно захочет пропустить применения, приведенные в конце; усердный читатель найдет в примечаниях более подробное описание вопросов, углубленное разъяснение идей, которые были упрощены в тексте книги, а также некоторые технические выкладки для тех, кто имеет достаточную математическую подготовку.

Я хотел бы выразить благодарность всем, кто оказал мне помощь в работе над книгой. Дэвид Стейнхарт с величайшим вниманием прочел рукопись и щедро одарил меня глубокими замечаниями и неосужденной похвалой. Дэвид Моррисон, Кен Вайнберг, Рафаэль Каепер, Николас Болес, Стивен Карлп, Артур Принслун, Дэвид Мермин, Майкл Попович и Шани Оффен внимательно ознакомились с рукописью и сделали массу подробных замечаний и предложений, которые позволили существенно улучшить книгу. Кроме того, все рукописи или отдельные ее главы были прочитаны Полом Аппельтолом, Персином Дреллом, Майклом Даффом, Куртом Готфридом, Джошуа Грини, Тедди Джефферсоном, Марком Каминковским, Яковом Кантером, Андрашем Ковачем, Дэвидом Ли, Меган Мак-Эвен, Нари Мистри, Хасаном Падасми, Роненом Плессером, Массимо Поратти, Фредом Шерри, Ларсом Стрелером, Стивеном Строчачем, Эндриу Строминджером, Генри Ти, Кумруном Вафой и Фабриэле Венешано, которые дали мне много полезных советов и поощрили меня к дальнейшей работе над книгой. Я хотел бы выразить особую благодарность Рафаэлю Ганнеру, помимо всего прочего, за его пронзительную критику на ранних стадиях работы, которая помогла мне найти общую форму книги, а также Роберту Мэли за его ненавязчивое, но настойчивое побуждение перейти от слов к делу и начать писать книгу. Стивен Вайн-

берг и Сидни Коулмен дали мне ряд ценных советов и оказали немалую помощь в работе над книгой. Эрл Арчер, Вики Карстенс, Дэвид Кассело, Энн Коил, Майклу Дункану, Джейн Форман, Уэнди Грин, Сюзан Грин, Эрику Йендрессену, Гэри Касс, Шива Кумару, Роберту Мохини, Пам Морхауз, Пьеру Рамону, Аманде Селз и Эйро Симончелли я обязан многочисленными, чрезвычайно полезными обсуждениями. Я в долгу перед Костасом Эфтимью за его помощь в проверке фактов и поиске ссылок, а также в превращении моих первоначальных набросков в рисунки, на основе которых Том Рокуэлл создал — с терпением святого и художественным вкусом — иллюстрации к книге. Я также благодарен Эндрю Хэнсону и Джиму Сесна за их помощь в подготовке некоторых специальных рисунков.

Я благодарен Говарду Джорджи, Шеллону Глаэшоу, Майклу Грину, Джону Шварцу, Джону Уилеру, Эдварду Виттену и, опять же, Эндрю Строминджеру, Кумруну Вафе и Габриэле Венециано за согласие ответить на вопросы и поделиться своими взглядами на различные темы, рассмотренные в книге.

Я счастлив выразить свою признательность Анжеле фон дер Липпе за ее пронизательные замечания и ценные предложения, а также Трейси Нэгл за ее исключительное внимание к деталям. Анжела и Трейси были редакторами моей книги в издательстве *W. H. Norton* и немало способствовали значительному улучшению ясности изложения. Я также хотел бы поблагодарить моих ли-

тературных агентов, Джона Брокмана и Катинку Мэтсон, за квалифицированные рекомендации на всем протяжении работы над книгой, вплоть до ее выхода в свет.

Я хотел бы выразить самую искреннюю признательность за щедрую поддержку моих более чем пятнадцатилетних исследований в области теоретической физики Национальному научному фонду США, фонду Альфреда П. Слоана и Министерству энергетики США. Наверное, не удивительно, что мои собственные исследования посвящены воздействию, которое теория суперструн оказала на наши представления о пространстве и времени; в последующих главах я опишу некоторые из открытий, в которых мне посчастливилось принимать участие. Я надеюсь, что читатель получит удовольствие от чтения этих отчетов о собственной работе, хотя осознаю, что они могут создать преувеличенное впечатление о моей роли в разработке теории суперструн. Поэтому разрешите воспользоваться этой возможностью, чтобы выразить свою признательность более чем тысяче физиков по всему миру, отдающих свой труд и талант работе по созданию окончательной теории мироздания. Я приношу свои извинения тем, чьи работы я не назвал: это связано только с выбранной мной идеей построения книги и ограниченностью ее объема.

Наконец, я хочу выразить сердечную признательность Элен Арчер за ее бесконечную любовь и поддержку, без которой эта книга никогда не была бы написана.

Часть I

НА ПЕРЕДНЕМ КРАЮ ПОЗНАНИЯ

Глава 1

Связанные струной

Говорить о сознательном замалчивании было бы, конечно же, преувеличением. Однако более полувек — даже в разгар величайших в истории научных открытий — физики спокойно мирились с существованием темного облачка, клубящегося на далеком горизонте. А дело здесь вот в чем. Современная физика покоится на двух столпах. Один из них — это общая теория относительности Альберта Эйнштейна, которая дает теоретическую основу для понимания вселенной в ее наиболее крупных масштабах — звезд, галактик, скоплений галактик, и далее к необъятным просторам самой вселенной. Другой столп — это квантовая механика, дающая теоретическую базу для понимания вселенной в ее наименьших масштабах — молекул, атомов и далее вглубь субатомных частиц, таких как электроны и кварки. За годы исследований физики с невообразимой точностью экспериментально подтвердили практически все предсказания каждой из этих теорий. Но использование этих же теоретических средств с неизбежностью ведет еще к одному, обескураживающему выводу: в своей современной формулировке общая теория относительности и квантовая механика не могут быть справедливы одновременно. Эти две теории, обусловившие небывалый прогресс физики последнего столетия, который объяснил и

расширение небес и основы строения материи, являются взаимно несовместимыми.

Если вам не приходилось ранее слышать об этом свирепом антагонизме, то вы, наверное, захотите узнать почему. Ответ не составляет большого секрета. За исключением наиболее экстремальных случаев, физики изучают *либо* объекты малые и легкие (как атомы и их составные части), *либо* объекты огромные и массивные (как звезды и галактики), но не те и другие одновременно. Это означает, что им достаточно было использовать *либо* только квантовую механику, *либо* общую теорию относительности, и они могли как бы незаметно отмахнуться от кричащего предостережения другой теории. На протяжении пятидесяти лет этот подход если и не подпадал под определение «благинное неведение», то был весьма недалек от него.

Но Вселенная *может* быть экстремальной. В центрах черных дыр чудовищные массы сжимаются до микроскопических объемов. В момент Большого взрыва вся Вселенная была исторгнута из микроскопического ядра, по сравнению с которым песчинка весом в долю грамма выглядит исполином. Это примеры объектов, которые являются крошечными по размерам и, в то же время, невероятно массивными, и потому требуют обновленной наводки орудий как квантовой механики, так и общей теории отно-

сительности. По причинам, которые будут становиться все более очевидными по мере продолжения нашего рассказа, при объединении уравнений общей теории относительности и квантовой механики начинается тряска, грохот и шипение пара, как в перегретом котле. Если выразиться менее образно, несчастливый союз этих двух теорий может приводить к появлению бессмысленных ответов на корректно поставленные физические вопросы. Даже если вы позволите глубинам черных дыр и началу Вселенной и далее скрываться под покровом тайны, вам не удастся избежать ощущения, что враждебность между квантовой механикой и общей теорией относительности вопиет о необходимости выработки более глубокого уровня понимания. Возможно ли, чтобы Вселенная была разделена на наиболее фундаментальном уровне, требуя одного набора законов для больших объектов и другого, несовместимого с первым, для малых?

Теория суперструн, зеленый новичок по сравнению с почтенными доктринами квантовой механики и общей теории относительности, отвечает на этот вопрос обнадеживающим «нет». Интенсивные исследования, проводившиеся в течение последнего десятилетия физиками и математиками всего мира, показали, что этот новый подход к описанию материи на ее наиболее фундаментальном уровне устраняет конфликт между общей теорией относительности и квантовой механикой. На самом деле теория суперструн дает больше. В этой новой системе общая теория относительности и квантовая механика *необходимы друг другу* для того, чтобы теоретические построения обрели смысл. Согласно теории суперструн, брачный союз законов макромира и микромира не только счастливый, но и неизбежный.

Но это только часть хороших новостей. Благодаря теории суперструн (или, для краткости, теории струн) этот союз делает гигантский шаг вперед. В течение трех десятилетий Эйнштейн был в поисках единой теории физики, которая должна была по его замыслу представлять собой единое теоретическое полотно, в ткань которого были бы вшиты все силы и взаимодействия природы и все составные элементы материи. Он потерпел

неудачу. Сегодня, на заре нового тысячелетия, сторонники теории струн утверждают, что ускользающие нити этого единого полотна наконец-то найдены. Теория струн способна показать, что все удивительные события во Вселенной — от неистовой пляски субатомных кварков до величавых вальсов кружащихся двойных звезд, от изначального огненного шара Большого взрыва до величественных спиралей галактик — являются отражениями одного великого физического принципа, одного главного уравнения.

Поскольку эти особенности теории струн требуют радикального изменения наших представлений о пространстве, времени и материи, понадобится некоторое время, чтобы привыкнуть к новым понятиям, чтобы понимание их смысла достигло достаточного уровня. Однако, как станет ясно из дальнейшего, если взглянуть на теорию струн в надлежащем контексте, ее появление окажется поразительным, однако естественным результатом революционных открытий физики XX столетия. Мы увидим, что в действительности противоречие между общей теорией относительности и квантовой механикой было не первым, а третьим в последовательности поворотных конфликтов, с которыми столкнулась физика прошлого века. Разрешение каждого из этих конфликтов приводило к радикальному пересмотру нашего понимания Вселенной.

Три конфликта

Первый конфликт, отмеченный учеными еще в конце XIX в., связан с загадочными свойствами распространения света. Коротко говоря, в соответствии с законами движения Исаака Ньютона, если бежать достаточно быстро, то можно догнать луч света, тогда как, согласно законам электромагнетизма Джеймса Клерка Максвелла, это сделать невозможно. Как будет показано в главе 2, Эйнштейн разрешил это противоречие в своей специальной теории относительности, полностью изменив при этом наше понимание пространства и времени. Согласно специальной теории относительности время и пространство не могут более рассматриваться как универсальные понятия, устано-

вленные раз и навсегда и воспринимаемые всеми одинаково. Напротив, пространство и время, как следует из работ Эйнштейна, представляют собой податливые конструкции, форма и характеристики которых зависят от состояния движения наблюдателя.

Создание специальной теории относительности подготовило почву для второго конфликта. Одно из следствий работы Эйнштейна состоит в том, что никакой объект, никакое воздействие или возмущение не могут перемещаться со скоростью, превышающей скорость света. Но, как будет показано в главе 3, подтверждаемая экспериментально и привлекающая нас интуитивным уровнем универсальная теория гравитации Ньютона включает в себя взаимодействия, которые *мгновенно* распространяются на огромные расстояния в пространстве. И снова в разрешении конфликта включился Эйнштейн, предложивший в 1915 г. новую концепцию тяготения в своей общей теории относительности. Эта теория точно так же опрокинула существовавшие представления о гравитации, как раньше это сделала специальная теория относительности с понятиями пространства и времени. Пространство и время не только зависят от состояния движения наблюдателя, они также могут деформироваться и искривляться в ответ на присутствие вещества или энергии. Как мы увидим далее, также деформации структуры пространства и времени передают силу тяжести из одного места в другое. Следовательно, пространство и время теперь более рассматривать как статичные декорации, на фоне которых разворачиваются события во Вселенной. Напротив, как показала специальная, а затем и общая теория относительности, они принимают самое непосредственное участие в событиях.

Вслед за этим история повторилась еще раз. Создание общей теории относительности, разрешив одно противоречие, породило другое. Начиная с 1900 г., в течение трех десятилетий физики развивали квантовую механику (обсуждаемую в главе 4) для решения нескольких кричащих проблем, возникших при попытке применить понятия XIX в. к микромиру. Как было сказано выше, треть и наиболее глубокое противоречие возник-

ло из несовместимости квантовой механики и общей теории относительности. В главе 5 будет показано, что гладкая искривленность пространства в общей теории относительности находится в противоречии с вытекающим из квантовой механики неистовым, вихревым поведением Вселенной на микроскопическом уровне. До середины 1980-х гг., когда теория струн разрешила этот конфликт, он справедливо считался центральной проблемой современной физики. Более того, теория струн, построенная на основе специальной и общей теории относительности, требует нового серьезного пересмотра наших концепций пространства и времени. Например, большинство из нас считает само собой разумеющимся то, что наша Вселенная имеет три пространственных измерения. Однако, согласно теории струн, это неверно. Теория струн утверждает, что Вселенная имеет гораздо больше измерений, чем доступно нашему глазу, но дополнительные измерения туго скручены и спрятаны в складчатой структуре космического пространства. Эти замечательные гипотезы о структуре пространства и времени играют такую важную роль, что они станут лейтмотивом всего последующего изложения. Теория струн, по существу, отражает историю развития представлений о пространстве и времени в постэйнштейновскую эпоху.

Чтобы понять реальную ценность теории струн, необходимо отступить на шаг назад и кратко описать то, что мы узнали о микроскопической структуре Вселенной в течение XX столетия.

Вселенная в своем самом малом, или что мы знаем о материи

Древние греки предположили, что вещество Вселенной состоит из мельчайших «неделимых» частиц, которые они назвали *атомами*. Они высказали гипотезу, что точно так же, как в языках алфавитного типа огромное количество слов строится путем комбинации небольшого числа букв, так и огромное разнообразие материальных объектов может быть результатом комбинации небольшого

числа различных элементарных строительных блоков. Это было гениальным предвидением. Спустя более 2000 лет мы продолжаем считать его верным, хотя представления о сущности этих фундаментальных строительных блоков неоднократно подвергались пересмотру. В XIX в. ученые показали, что многие обычные вещества, например, кислород и углерод, состоят из мельчайших компонентов, которые, следуя традиции, идущей от греков, были названы *атомами*. Название сохранилось, но время показало, что оно было неправильным, поскольку атомы определенно являются «делимыми». К началу 1930-х гг. совместными усилиями Дж. Дж. Томсона, Эрнеста Резерфорда, Нильса Бора и Джеймса Чедвика была разработана известная большинству из нас модель строения атома, похожая на солнечную систему. Атомы, которые являются далеко не самыми элементарными частицами материи, состоят из ядра (содержащего протоны и нейтроны), окруженного роем движущихся по орбитам электронов.

В течение некоторого времени многие физики считали, что протоны, нейтроны и электроны являются «атомами» в том смысле, который вкладывали в это слово древние греки. Однако эксперименты, проведенные в 1968 г. на Стэнфордском линейном ускорителе и использовавшие возросшую мощь технологий для изучения глубин микромира, продемонстрировали, что ни протоны, ни нейтроны не являются фундаментальными. Эти эксперименты показали, что они состоят из трех частей меньшего размера, названных *кварками*. Это вымышленное название было заимствовано теоретиком Мюрреем Гелл-Манном, предсказавшим существование кварков, из произведения ирландского писателя Джеймса Джойса *Поминки по Финнегану*. Экспериментаторы установили, что сами кварки делятся на два типа, которые несколько менее изысканно были названы *u-кварками* и *d-кварками*. Протон состоит из двух *u-кварков* и одного *d-кварка*, а нейтрон — из двух *d-кварков* и одного *u-кварка*.

Все, что мы видим на Земле и в небесах, по-видимому, состоит из комбинаций электронов, *u-кварков* и *d-кварков*. Не существует экспериментальных данных, ука-

зывающих на то, что какая-либо из этих трех частиц состоит из элементов меньшего размера. Однако имеется масса данных, свидетельствующих о том, что Вселенная содержит дополнительные компоненты. В середине 1950-х гг. Фредерик Райнес и Клайд Коуэн получили решающее экспериментальное доказательство существования четвертого типа фундаментальных частиц, названных *нейтрино*. Существование этих частиц было предсказано в начале 1930-х гг. Вольфгангом Паули. Нейтрино оказалось очень трудно обнаружить: это частица-призрак, которая чрезвычайно редко взаимодействует с другими видами материи. Нейтрино средней по величине энергии легко проникает сквозь многие триллионы миль свинца, которые не оказывают ни малейшего влияния на его движение. Эта информация должна принести вам значительное облегчение, поскольку прямо сейчас, когда вы читаете эту книгу, миллиарды нейтрино, испущенных Солнцем, проходят через ваше тело и через Землю в ходе долгих скитаний по космическому пространству. В конце 1930-х гг. физики, исследующие космические лучи (потоки частиц, которые бомбардируют Землю из космоса), открыли еще одну частицу, названную *мюоном*. Эта частица идентична электрону, за исключением того, что она примерно в 200 раз тяжелее. Поскольку в мироздании не было ничего — ни нерешенных загадок, ни пустующих ниш, — что требовало бы существования мюона, нобелевский лауреат, специалист по физике элементарных частиц Исидор Исак Раби приветствовал открытие мюона не слишком радостной фразой: «Ну, и кто это заказывал?» Тем не менее, мюон существовал. За ним последовали многие другие частицы.

Используя все более мощную технику, физики продолжали сталкивать крошечные частицы материи все более высокой энергии. При этом в течение коротких промежутков времени воссоздавались условия, не существовавшие со времен Большого взрыва. Среди образовавшихся осколков ученые искали новые фундаментальные частицы, чтобы добавить их к растущему списку элементарных частиц. Вот что они обнаружили: еще четыре кварка — *c*, *s*, *b* и *t*, еще

Таблица 1.1

Три семейства фундаментальных частиц и массы частиц (в долях массы протона). Значения масс нейтрино до сих пор не удалось определить экспериментально.

Семейство 1		Семейство 2		Семейство 3	
Частица	Масса	Частица	Масса	Частица	Масса
Электрон	0,00054	Мюон	0,11	Тау	1,9
Электронное нейтрино	$< 10^{-8}$	Мюонное нейтрино	$< 0,0003$	Тау-нейтрино	$< 0,033$
<i>u</i> -кварк	0,0047	<i>c</i> -кварк	1,6	<i>t</i> -кварк	189,0
<i>d</i> -кварк	0,0074	<i>s</i> -кварк	0,16	<i>b</i> -кварк	5,2

одного, даже более тяжелого, родственника электрона, названного *тау-лептоном*, а также еще две частицы, свойства которых схожи со свойствами нейтрино (они получили название *мюонное нейтрино* и *тау-нейтрино*, чтобы отличить их от первого нейтрино, которое стало называться *электронным нейтрино*). Эти частицы образуются в соударениях при высокой энергии, они существуют только в течение коротких промежутков времени и не входят в состав обычной материи. Но и это еще не конец истории. Каждая из этих частиц имеет соответствующую ей *античастицу*, обладающую такой же массой, но являющейся противоположной в некоторых других отношениях, например, противоположной по электрическому заряду (или зарядам других видов взаимодействий, обсуждаемых ниже). Например, античастица электрона называется позитроном, она имеет такую же массу, но ее электрический заряд^{*)} равен $+1$, тогда как у электрона он составляет -1 . При контакте вещества и антивещества взаимно уничтожаются, превращаясь в чистую энергию — вот почему антивещество, образовавшееся естественным образом, крайне редко встречается в окружающем нас мире.

Физики подметили закономерность в свойствах этих частиц (см. табл. 1.1). Частицы материи четко разделяются на три группы, которые часто называют *семействами*. Каждое семейство состоит из двух кварков,

электрона или одного из его родственников, и одного из типов нейтрино. Свойства соответствующих частиц в трех семействах идентичны за исключением массы, которая последовательно увеличивается в каждом следующем семействе. В настоящее время физики исследуют структуру вещества в масштабах порядка одной миллиардной от одной миллиардной доли метра; при этом показано, что *все* вещество, найденное по сей день — естественное или полученное искусственно при помощи гигантских устройств для столкновения атомов — состоит из комбинаций частиц, входящих в эти семейства, и соответствующих им античастиц.

Взгляд на табл. 1.1, несомненно, вызовет у вас еще большее изумление, чем то, которое испытал Раби при открытии мюона. Разделение на семейства, по крайней мере, вносит какую-то видимость порядка, но при этом возникают многочисленные «почему». Почему требуется так много фундаментальных частиц, особенно если вспомнить, что для подталкивания большинства окружающих нас тел требуются только электроны, *u*-кварки и *d*-кварки? Почему семейств три? Почему не одно семейство, или не четыре, или не какое-нибудь другое число? Почему наблюдается такой, на первый взгляд совершенно случайный, разброс значений масс частиц, например, почему масса тау-частицы в 3 520 раз больше массы электрона? Почему масса *t*-кварка в 40 200 раз больше массы *u*-кварка? Все эти числа выглядят странно, они кажутся случайными. Являются ли они игрой случая, связаны ли они с каким-то божественным выбором, или эти фундамен-

^{*)} По-русски означает, что заряды частиц выражены в единицах элементарного заряда $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. — Прим. перев.

нюдь не является праздным; Вселенная была бы совсем иной, если бы свойства материи и частиц, отвечающих за фундаментальные взаимодействия, хотя бы чуть-чуть изменились. Например, существование стабильных ядер, образующих около сотни элементов периодической системы, очень сильно зависит от соотношения сильного и электромагнитного взаимодействия. Протоны, находящиеся в атомном ядре, отталкивают друг друга в результате действия электромагнитных сил. К счастью, сильное взаимодействие между составляющими эти протоны кварками преодолевает силы отталкивания и удерживает протоны вместе. Однако относительно небольшое изменение соотношения между величинами этих двух взаимодействий может легко нарушить равновесие и привести к разрушению большинства атомных ядер. Далее, если бы масса электрона была всего в несколько раз больше, электроны и протоны начали бы объединяться, образуя нейтроны и захватывая ядра водорода (простейшего элемента во Вселенной, а ядро, состоящий из одного протона), а это, в свою очередь, привело бы к нарушению баланса образования более сложных элементов. Существование звезд зависит от взаимодействий между стабильными ядрами; звезды не смогли бы образоваться при таком изменении фундаментальных физических законов. Величина гравитационных сил также играет важную роль. Огромная плотность вещества в центре звезды питает ядерный очаг и, тем самым, определяет интенсивность излучения звезды. Если величина гравитационных сил увеличится, давление в недрах звезд возрастает, что приводит к значительному росту интенсивности ядерных реакций. Но так же как яркое пламя исчерпывает горючее гораздо быстрее, чем тихое пламя свечи, так и увеличение скорости ядерных реакций привело бы к тому, что звезды, подобные нашему Солнцу, выгорели быстрее. Это оказало бы разрушительное влияние на зарождение жизни в том виде, в котором она нам известна. С другой стороны, если бы гравитационные силы существенно уменьшились, вещество не смогло бы собраться в скопления, не возникли бы звезды и галактики.

Мы могли бы продолжить, но основная идея ясна: Вселенная такая, какая она есть, потому, что вещество и частицы, отвечающие за фундаментальные взаимодействия, имеют те свойства, которые они имеют. Но существует ли научное объяснение тому, почему они имеют именно такие свойства?

Теория струн: основная идея

Теория струн представляет собой мощную парадигму понятий, которая впервые дает ответ на поставленные выше вопросы. Рассмотрим сначала основную идею этой теории.

Частицы, приведенные в табл. 1.1, являются «буками» для всего вещества. Кажется, что, как и их лингвистические аналоги, частицы не имеют внутренней структуры. Теория струн говорит иное. Она утверждает, что если бы мы могли исследовать эти частицы с более высокой точностью, на много порядков превышающей наши современные технические возможности, мы обнаружили бы, что каждая из частиц является не точечным образованием, а состоит из крошечной одномерной *петли*. Внутри каждой частицы — вибрирующее, колеблющееся, плывущее волокно, подобное бесконечно тонкой резиновой ленте, которое физики, не наделенные



Рис. 1.1. Вещество состоит из атомов, которые в свою очередь состоят из кварков и электронов. Согласно теории струн все такие частицы в действительности представляют собой крошечные петли вибрирующей струн

литературным вкусом Гелл-Манна, назвали *струной*. На рис. 1.1 мы продемонстрировали эту основную идею теории струн, взяв обычный материальный объект — яблоко — и последовательно увеличивая его структуру для того, чтобы показать ее компоненты во все более крупном масштабе. Теория струн добавляет новый микроскопический уровень — колеблющуюся петлю — к уже известной иерархии, идущей от атомов к протонам, нейтронам, электронам и кваркам²⁾.

Хотя это совершенно неочевидно, мы увидим в главе 6, что такая простая замена точечных элементарных компонентов материи струнами приводит к устранению противоречий между квантовой механикой и общей теорией относительности. Тем самым теория струн распуывает основной гордиев узел современной теоретической физики. Это выдающееся достижение, но оно представляет собой только часть причин, по которым теория струн вызывает такое восхищение.

Теория струн как единая теория всего

Во времена Эйнштейна сильное и слабое взаимодействия были еще неизвестны, однако его глубоко беспокоило существование даже двух различных взаимодействий — гравитационного и электромагнитного. Эйнштейн не мог примириться с тем, что природа устроена таким экстравагантным образом. Это стало побудительной причиной тридцатилетнего исследования, посвященного поиску так называемой *единой теории поля*, которая, как он надеялся, сможет продемонстрировать, что два взаимодействия представляют собой на самом деле проявления одного фундаментального принципа. Эти донихотские поиски изолировали Эйнштейна от основного направления развития физики, которое, по вполне понятным причинам, было гораздо более озабочено разработкой новой дисциплины — квантовой механики. В начале 1940-х гг. он писал своему другу: «Я стал одиноким старым чудачком, который изведен главным образом тем, что не носит носков, и которого выставляют как диковину по особым случаям»³⁾.

Эйнштейн просто опередил свое время. Прошло более полувека, и его мечта об универсальной теории стала Святым Граалем современной физики. При этом значительная часть сообщества физиков и математиков все больше верит в то, что теория струн может стать такой теорией. Основываясь на одном принципе — что на самом микроскопическом уровне все состоит из комбинаций вибрирующих волокон, — теория струн дает единый способ объяснения свойств всех взаимодействий и всех видов материи.

Например, теория струн говорит, что все наблюдаемые свойства элементарных частиц, приведенные в табл. 1.1 и 1.2, являются проявлением различных типов колебаний струн. Петли в теории струн имеют резонансные частоты, подобные резонансным частотам струн скрипки или пианино, на которых они предпочитают колебаться, и которые наше ухо воспримает как музыкальные ноты и их более высокие гармоники. Но, как мы увидим далее, вместо того, чтобы звучать на определенной музыкальной ноте, каждая из разрешенных мод колебаний струны в теории струн проявляется в виде частицы, масса и заряды которой определяются конкретным видом колебания. Электрон представляет собой один вид колебания струны, а кварк — другой, и так далее. Вместо набора разрозненных экспериментальных фактов свойства частиц в теории струн представляют собой проявления одного и того же физического свойства: резонансных мод колебаний — так сказать, музыки — фундаментальных петель струны. Та же идея применима и к взаимодействиям, существующим в природе. Мы увидим, что частицы, переносящие взаимодействия, также связаны с определенными модами колебания струны, и, следовательно, все — вся материя и все взаимодействия — объединяются под одной и той же рубрикой колебаний микроскопической струны — «нот», на которых могут звучать струны.

Таким образом, впервые в истории физики у нас есть *единая теория*, которая может объяснить все фундаментальные особенности, лежащие в основе строения Вселенной. По этой причине теорию струн иногда описывают как возможного кандидата на роль «теории всего сущего» (ТВС), или

«завершающей» или «окончательной» теории. Эти пышные эпитеты предназначены для того, чтобы отразить глубочайший возможный уровень физической теории, лежащая в основе всех остальных теорий, которая не требует и, более того, не допускает более глубокой основы для объяснения. На практике многие специалисты по теории струн используют более прагматической подход и трактуют ТВС в более узком смысле как теорию, которая может объяснить свойства фундаментальных частиц и сил, посредством которых эти частицы взаимодействуют между собой. Последовательный сторонник редукционизма¹⁾ мог бы заметить, что это вовсе не является ограничением и что в принципе абсолютно все, начиная от Большого взрыва и заканчивая нашими мыслями, может быть описано с использованием лежащих в основе всего микроскопических физических процессов, в которых участвуют фундаментальные компоненты материи. Редукционисты говорят: если вы знаете все о компонентах, вы знаете все обо всем.

Философия редукционизма часто порождает ожесточенные дебаты. Многие находят ее ограниченной и отказываются согласиться с тем, что все тайны жизни и Вселенной являются простым отражением бесцельного танца микроскопических частиц, полностью управляемого законами физики. Действительно ли наши чувства радости, скорби и тошноты всего лишь химические реакции между молекулами и атомами мозга, или, если обратиться к более глубокому уровню, между частицами, перечисленными в табл. 1.1, которые в действительности представляют собой всего лишь колеблющиеся струны? В ответ на эту критику нобелевский лауреат Стивен Вайнберг предостерегает в своей книге *Мысль об окончательной теории*: «На другом конце спектра находятся оппоненты редукционизма, которые путают нас тем, что они называют бездумным современным нау-

ки. В какой бы степени они и их мир ни были сведены к частицам или полям и взаимодействию этих частиц и полей, они чувствуют себя униженными этим знанием... Я не буду пытаться ответить на эту критику, живописуя красоты современной науки. Мир, каким его видит редукционист, холоден и безлик. Мы должны принять его таким, каков он есть, не потому, что он нравится нам, но потому, что это способ существования мироздания»²⁾.

Одни согласятся с такой суровой точкой зрения, другие будут спорить.

Многие пытаются возражать, утверждая, что новые достижения, такие как теория хаоса, говорят нам, что при увеличении сложности систем начинают действовать новые законы. Понимание поведения электрона — это одно, а использование этого знания для объяснения поведения торнадо — совсем другое. С этим большинство согласно. Мнения расходятся по вопросу о том, действительно ли разнообразные и часто неожиданные явления, которые происходят в более сложных, чем отдельные частицы, системах, связаны с работой новых физических принципов. Может быть принципы, определяющие поведение систем, имеют произвольный характер, который зависит, хотя и чудовищно сложным образом, от физических принципов, управляющих невообразимо большим числом элементарных компонентов? По моему мнению, эти принципы не представляют новых и независимых законов физики. Хотя объяснить свойства торнадо на языке физики электронов и кварков непросто, я вижу здесь чисто вычислительные проблемы, а не признак того, что необходимы новые физические законы. Впрочем, опять же, найдутся те, кто не согласится с этим мнением.

Однако даже если кто-то и принимает спорную аргументацию убежденного редукциониста, принципы — это одно дело, а практика — совсем другое. Именно это бесспорное утверждение будет очень важным для нашего дальнейшего путешествия. Подходящее согласие, что создание ТВС никоим образом не означает, что задачи психологии, биологии, геологии, химии или даже физики будут решены или каким-то образом клас-

сифицированы. Вселенная — такое сказочно богатое и сложное место, что открытие окончательной теории, в том смысле, который мы описываем здесь, не означает конца науки. Как раз наоборот, открытие ТВС, окончательного объяснения Вселенной на ее самых малых масштабах, теории, которая не нуждается в каком-либо более глубоком объяснении, может дать наиболее прочное основание для *строительства* нашего понимания мира. Ее открытие будет означать начало, а не конец. Окончательная теория даст нам неколебную точку опоры, навсегда гарантиующую познаваемость Вселенной.

Современное состояние теории струн

Центральной темой данной книги является объяснение устройства Вселенной на основе теории струн, при этом особое внимание уделено влиянию новых результатов на наше понимание пространства и времени. В отличие от многих других научных открытий, то, о чем говорится здесь, не является окончательно разработанной теорией, имеющей надежное экспериментальное подтверждение и полностью принятой научным сообществом. Как мы увидим в следующих главах, причина этого состоит в том, что теория струн является столь глубокой и сложной структурой, что даже несмотря на впечатляющий прогресс, достигнутый за последние десятилетия, предстоит сделать еще очень много, прежде чем мы сможем заявить, что достигли полного понимания.

Таким образом, теория струн должна рассматриваться как развивающееся направление, первые результаты которого уже продемонстрировали поразительное проникновение в сущность пространства, времени и материи. Главным успехом является гармоничный союз общей теории относительности и квантовой механики. Далее, в отличие от всех предшествующих теорий, теория струн отвечает на основополагающие вопросы, относящиеся к наиболее фундаментальным составным частям и взаимодействиям в природе. Не менее важным, хотя

это труднее передать, является замечательное искусство как ответов, которые дает теория, так и самой теоретической основы, позволяющей получать эти ответы. Например, в теории струн многие аспекты мироздания, которые могут показаться произвольными техническими деталями, такие, как число независимых фундаментальных частиц и их свойства, являются следствием несомненных характеристик геометрии Вселенной. Если теория струн справедлива, микроскопическая структура нашей Вселенной представляется собой сложно переплетенный, многомерный лабиринт, в котором струны Вселенной бесконечно закручиваются и вибрируют, ритмично отбивая законы космоса. Свойства основных кирпичиков мироздания, — будучи совсем не случайными, — глубоко связаны со структурой пространства и времени.

В конечном счете, однако, ничто не может заменить четко определенных, поддающихся проверке предсказаний, которые смогут показать, действительно ли теория струн в состоянии поднять завесу тайны, скрывающую глубочайшие истины нашей Вселенной. Может пройти некоторое время, прежде чем наш уровень понимания достигнет глубины, достаточной для достижения этой цели, хотя, как будет показано в главе 9, экспериментальные проверки могут дать сильную и всестороннюю поддержку теории струн в течение ближайшего десятилетия. Более того, в главе 13 мы увидим, что теория струн недавно позволила решить одну из центральных проблем черных дыр, связанную с так называемой энтропией Бекенштейна — Хокинга, задачу, которая более двадцати пяти лет упорно сопротивлялась решению даже традиционными методами. Этот успех убедил многих в том, что теория струн дает глубочайшее понимание того, как устроена Вселенная.

Эдвард Виттен, один из первопроходцев и ведущих специалистов в теории струн, подытожил современную ситуацию, сказав, что «теория струн — это часть физики двадцатого века, случайно попавшая в двадцатый век», повторив оценку, впервые высказанную выдающимся итальянским физиком Даниелем Аматти³⁾. В некотором смысле слу-

¹⁾ Редукционизм представляет собой философскую концепцию, согласно которой все высшие явления могут быть сведены к основополагающим низшим явлениям. В разные эпохи редукционизм принимал разные формы, например, в XVIII в. большую популярность имел механизмизм, говоривший о возможности сведения всех явлений к механическим. — *Прим. пера.*

чилось так, как если бы нашим предкам в конце XIX столетия преподнесли современный суперкомпьютер, но не дали руководства по его эксплуатации. Используя метод проб и ошибок, можно было бы оценить мощь суперкомпьютера, но для того, чтобы достичь подлинного мастерства, потребовались бы энергичные и продолжительные усилия. Признаки мощи компьютера, как проблемы способности теории струн давать объяснения, могут быть причиной очень сильной мотивации к овладению всем устройством. Подобная мотивация сегодня подстегивает поколение физиков-теоретиков в стремлении добиться полного и точного аналитического понимания теории струн.

Замечание Виттена и схожие высказывания других специалистов в этой области называют на то, что могут пройти десятилетия или даже столетия, прежде чем теория струн будет полностью разработана и осознана. Это вполне может оказаться правдой. В действительности математический аппарат теории струн столь сложен, что сегодня никто даже не знает точных уравнений этой теории. Вместо этого физики используют лишь приближенные варианты этих уравнений, и даже эти приближенные уравнения столь сложны, что пока поддаются только частичному решению. Тем не менее, вдохновляющие прорывы конца 1990-х гг., которые позволили дать теоретические ответы на вопросы невиданной доселе трудности, могут быть признаком того, что полное понимание теории струн на количественном уровне гораздо ближе, чем считалось первоначально. По всему миру физики разрабатывают новые мощные методы, далеко превосходящие использовавшиеся до сих пор многочисленные приближенные методы, коллективно собирая вместе разрозненные элементы головоломки теории струн с обнадеживающей скоростью.

Удивительно, но эти разработки дают новые средства для пересмотра некоторых основных положений теории, которые считались устойчивыми. Например, при взгляде на рис. 11 у вас может возникнуть законный вопрос: А почему струны? Почему не маленькие диски? Или микроскопические каплевидные ядрышки? Или какая-ни-

будь комбинация этих тел? Как мы увидим в главе 12, последние достижения показали, что перечисленные компоненты играют важную роль в теории струн, и что теория струн на самом деле является частью еще более грандиозного синтеза, который в настоящее время имеет (несколько мистическое) название М-теории. Эти последние достижения будут рассмотрены в заключительных главах данной книги.

Прогресс в науке осуществляется скачками. Одни периоды наполнены великими прорывами, в другие времена исследователи остаются без улова. Ученые получают новые теоретические и экспериментальные результаты. Они обсуждают научным сообществом, иногда отвергаются, иногда дифференцируются, а иногда служат отправной точкой для скачков в разработке новых и более точных методов понимания физического мира. Иными словами, наука движется в направлении того, что, как мы надеемся, будет окончательной истиной, по *зигзагообразному* пути, который начался с самых первых попыток человечества познать мироздание, и конец которого мы не можем предсказать. Нам неизвестно, является ли теория струн промежуточной остановкой на этом пути, или важным поворотным пунктом, или конечным пунктом назначения. Однако исследование, проводившееся в течение последних двадцати лет сотнями физиков и математиков из многих стран, дали нам обоснованную надежду, что мы на правильном пути и, возможно, вышли на финишную прямую.

Эта книга представляет собой рассказ о теории струн, которая столь богата и ведет к таким далеко идущим выводам, что даже наш современный уровень понимания позволил получить поразительно новые результаты, касающиеся устройства нашей Вселенной. Основной темой в дальнейшем изложении будут те достижения, которые движут революцию в понимании пространства и времени, *начатую специальной и общей теорией относительности Эйнштейна*. Мы увидим, что если теория струн верна, строение нашей Вселенной имеет такие свойства, которые, наверное, *изумили бы даже Эйнштейна*.

Часть II

ДИЛЕММА ПРОСТРАНСТВА, ВРЕМЕНИ И КВАНТОВ

Глава 2

Пространство, время и взгляд наблюдателя

В июне 1905 г. двадцатишестилетний Альберт Эйнштейн послал в немецкий журнал *Annalen der Physik* статью, в которой бросил вызов парадоксу о скорости света, который привлек его внимание десять лет назад, когда он был еще подростком. Переворнув последнюю страницу рукописи Эйнштейна, редактор журнала, Макс Планк, понял, что обескураживающие научные представления низвергнуты. Без шума и фанфар скромный чиновник патентного бюро из швейцарского города Берна радикально изменил традиционные представления о пространстве и времени, заменив их новыми понятиями, бросившими вызов всему, к чему мы привыкли на основе нашего жизненного опыта.

Парадокс, который беспокоил Эйнштейна в течение десяти лет, состоял в следующем. В середине XIX в., после тщательного изучения результатов экспериментальных работ английского физика Майкла Фарадея, шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл сумел объединить понятия электричества и магнетизма в единую теорию *электромагнитного поля*. Если вам когда-либо приходилось находиться на вершине горы перед началом сильной грозы или стоять рядом с генератором Ван де Граафа, вы

почувствовали, что такое электромагнитное поле, потому что вы его ощутили физически. Для тех, кто не имеет такого опыта, скажем, что поле похоже на поток электрических и магнитных силовых линий, пронизывающих область пространства. Например, если рассыпать железные опилки возле магнита, то можно увидеть, что они образуют упорядоченный рисунок, следующий невидимым силовым линиям магнитного поля. Сняв шерстяной свитер в особенно сухой день, вы слышите потрескивание, сопровождающееся одним-двумя короткими разрядами, что свидетельствует о существовании силовых линий электрического поля, порождаемых стекающими с волокон вашего свитера электрическими зарядами. Помимо объединения этих и всех других электрических и магнитных явлений в рамках единого математического описания, теория Максвелла довольно неожиданно привела к выводу, что электромагнитные возмущения распространяются с постоянной, никогда не изменяющейся скоростью, равной скорости света. На основании этого факта Максвелл заключил, что видимый свет представляет собой не что иное, как определенным типом электромагнитной волны. Как нам сегодня известно, взаимодействуя с химическими со-