

The background of the cover is a cosmic web, a complex network of filaments and nodes of dark matter and gas. The filaments are shown in shades of blue and white, stretching across the dark space. Small, bright yellow and orange spots represent galaxy clusters or individual galaxies. The overall effect is a sense of vast, interconnectedness in the universe.

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)*

*Джорж 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

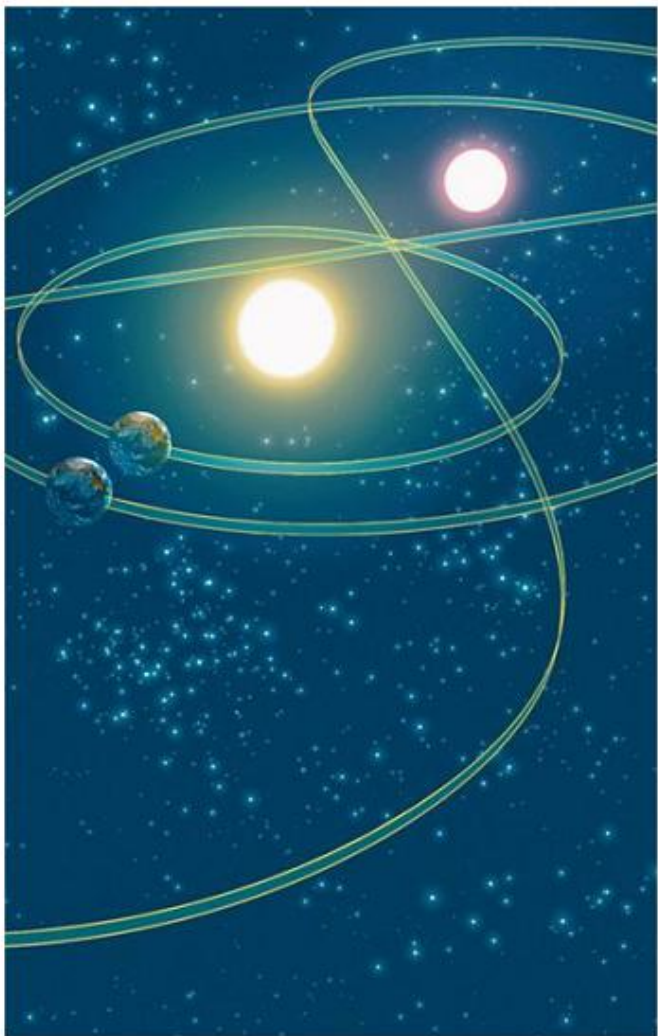
*Параллельных Линий до Гиперпространства
Радуга Фейнмана: Поиск Прекрасного в
Физике и в Жизни*

ДЛЯ ДЕТЕЙ

Последний Динозавр (с Мэттом Костелло)

Титаник Кот (с Мэттом Костелло)

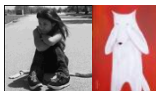
ВЕЛИКИЙ ЗАМЫСЕЛ



ВЕЛИКИЙ ЗАМЫСЕЛ



СТИВЕН ХОКИНГ
и ЛЕОНАРД МЛОДИНОВ



Irina73 & DrSerg1979
free release

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

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

Переведено <http://notabenoid.com/>



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

Глоссарий

Благодарности

Алфавитный указатель



1



ТАЙНА БЫТИЯ

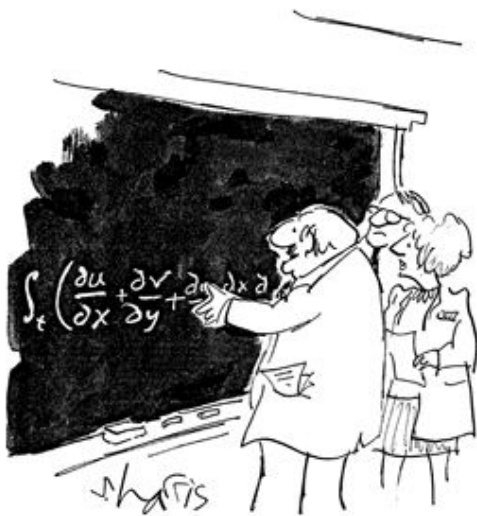
ВСЕ МЫ СУЩЕСТВУЕМ ЛИШЬ

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, 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.



“... 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 разьясим Фейнмановский

подход 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

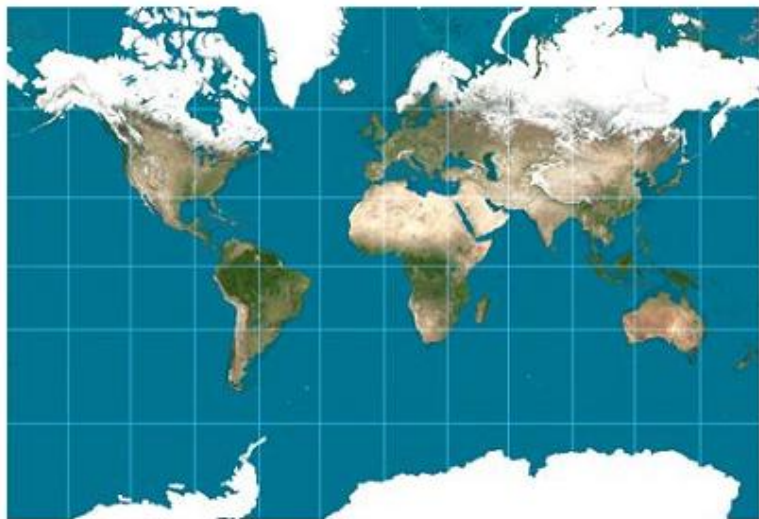
мира. Когда подобная модель позволяет успешно объяснить те или иные события, мы стремимся приписать ей, равно как и составляющим её элементам и концепциям, качество реальности или абсолютной истины. Но возможно существование различных способов, когда можно смоделировать такую же физическую ситуацию, 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 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 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, 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*.

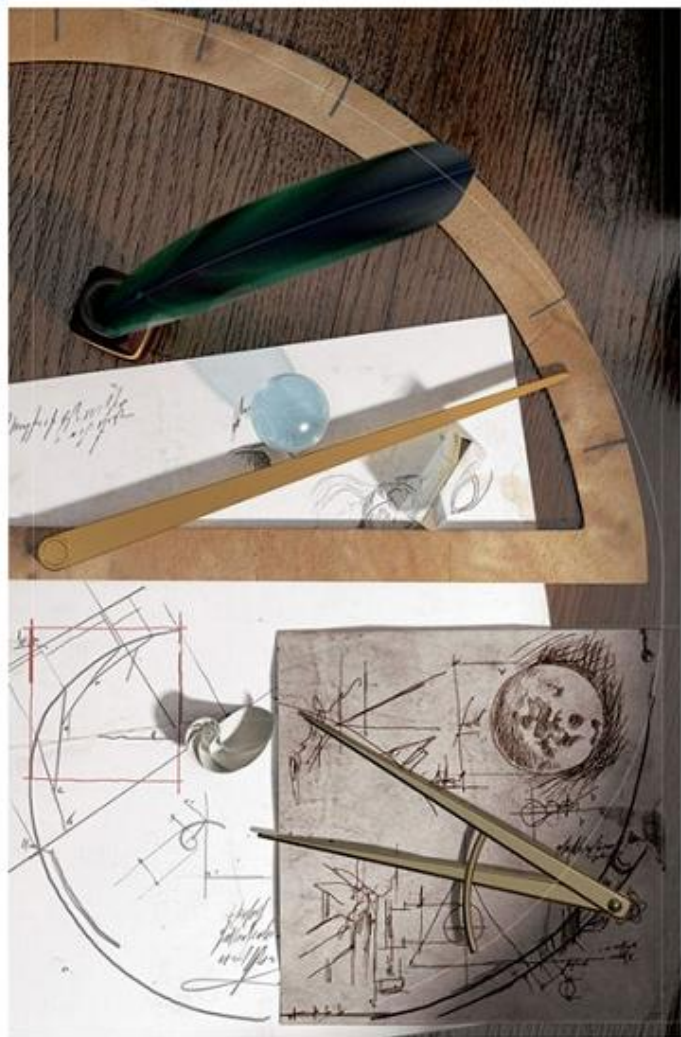
Почему что-либо присутствует, вместо того, чтобы отсутствовать?

Почему мы существуем?

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





2



ВЛАСТЬ ЗАКОНА

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

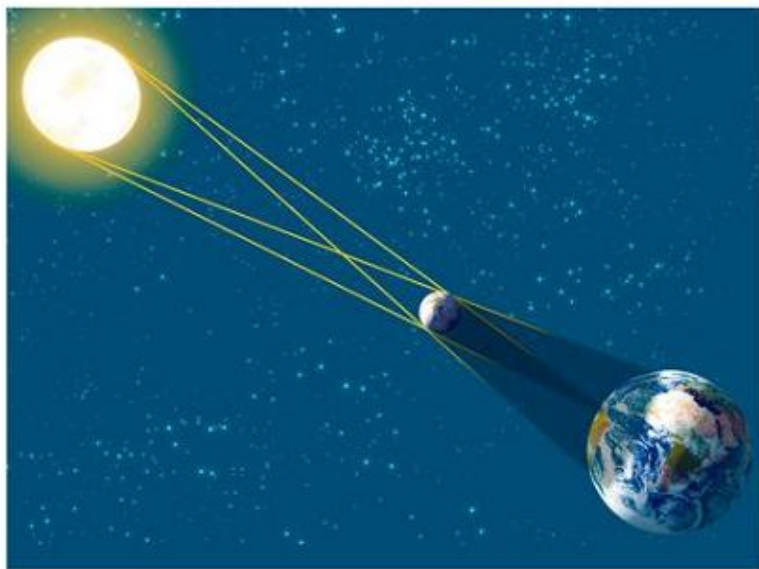
Хати, волк из рода Хродвитнира, который должен преследовать Солнце.

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 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.

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,ставляющих человека виновником данной катастрофы. Способность человека чувствовать вину такова, что люди всегда ищут способы обвинить себя. Как гласит легенда, Лао, вождь Нижнего Мира, влюбился в красивую человеческую девушку, дочь вождя племени Кламат. Она отвергла его, и в отместку Лао попытался

с помощью огня уничтожить племя КлаMAT. К счастью, согласно легенде, СкеЛл, 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 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.

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 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.



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 сегодняшней терминологии закон рычага объясняет, что малыми силами может быть

поднят большой вес, потому что рычаг увеличивает силу согласно отношению расстояний от 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 Эвклид 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 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 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, измеряя 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 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 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, стойки -

греческая философская школа, 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 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 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 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.



“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 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 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 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 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. 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 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. 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

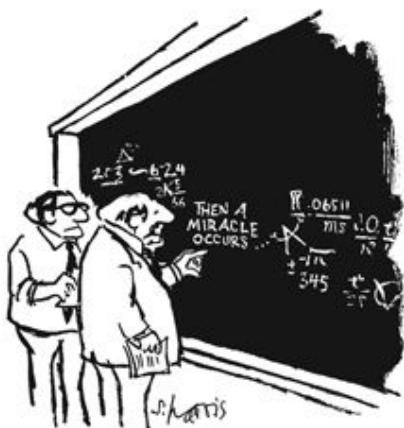
законов для совершения чудес. Даже Ньютон в некотором роде верил в чудеса. Он думал, что орбиты планет могли быть нестабильны потому, что гравитационное притяжение одной планеты к другой могло вызывать нарушение орбит, которое, увеличиваясь со временем, могло иметь результатом как падение планет на Солнце, 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 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?



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

Если мы обладаем свободной волей, то в каком месте эволюционного дерева 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, "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, переносящих 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.

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 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 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, 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?





3



ЧТО ЕСТЬ РЕАЛЬНОСТЬ?

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 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 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 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. Хоть 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. 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: "Errig si tuove" ("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.

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 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.



“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 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, 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 пространственного-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 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.



“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 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 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 считает 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 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 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.



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

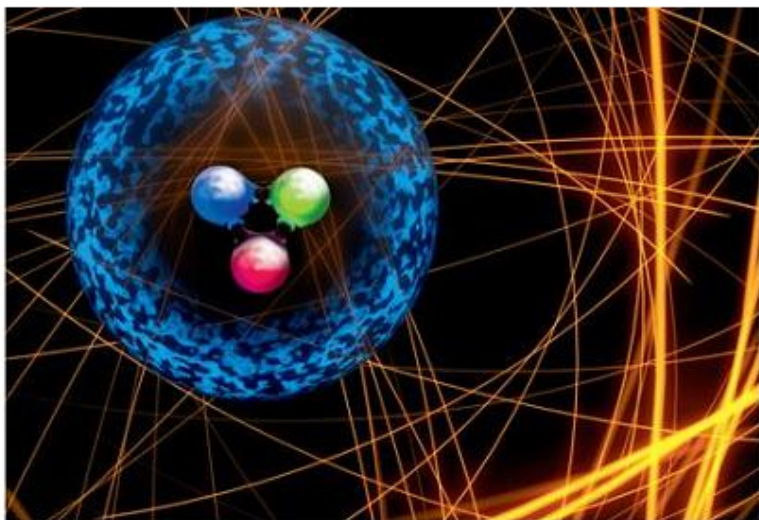
группах из трех (протоны и нейтроны) кварков, или парами: кварк и антикварк (пи-мезон), и ведут себя так, как если бы были соединены резинкой.

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,

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 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 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 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 выдуманнными коэффициентами не очень элегантна. Перефразируя Эйнштейна, теория должна быть настолько простой, насколько это возможно, 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 незелантную. Эта модель более удачная, чем Птолемеевские 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 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, 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 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.



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.

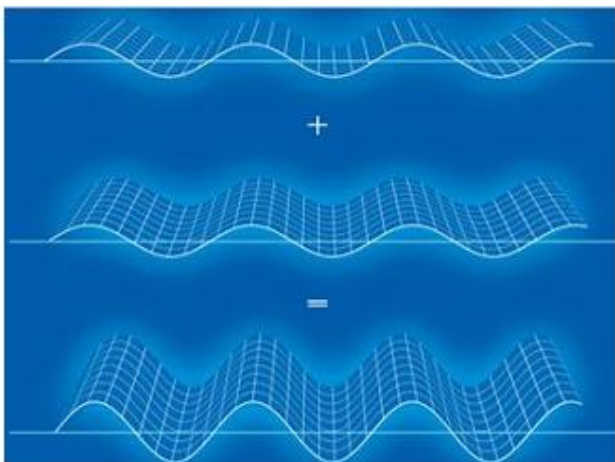
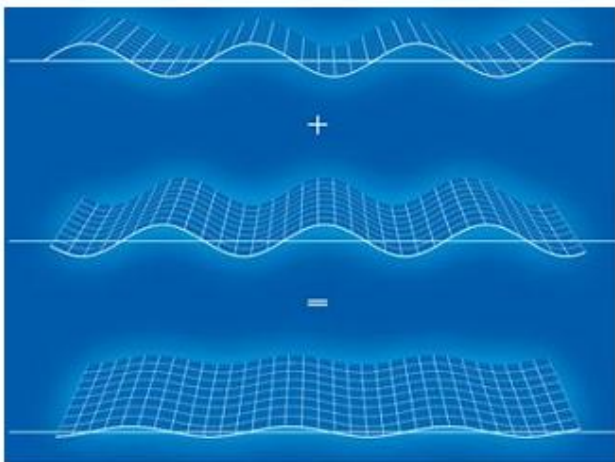
Не смотря на это, корпускулярная теория не смогла объяснить увиденный Ньютоном феномен, известный как круги Ньютона. Положите линзу на плоскую

отражающую поверхность и осветите её одноцветным лучом, таким как натриевый луч. Смотри сверху можно увидеть несколько светлых и темных колец, расположенных в 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

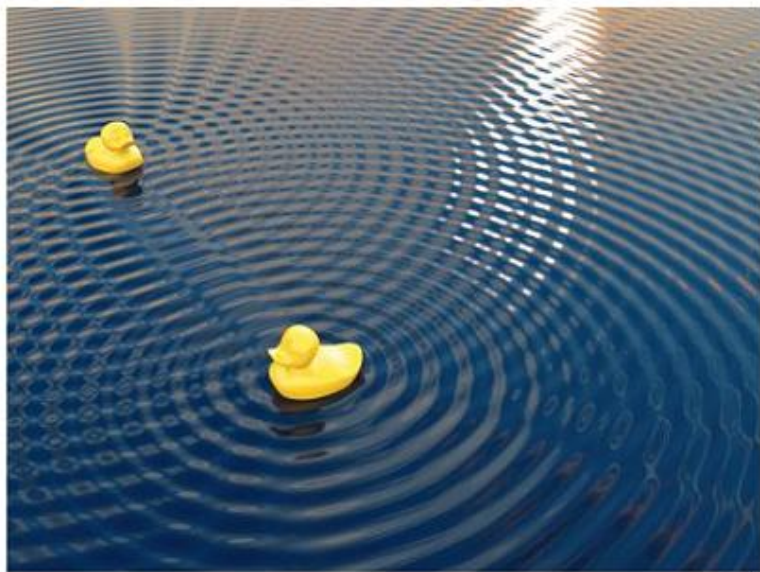
гребнями или впадинами соседних волн.) С другой стороны, темные кольца расположены на таких расстояниях от центра, где разница между двумя отраженными волнами равна полуцелому ($1/2, 1\ 1/2, 2\ 1/2, \dots$) числу длин волн, что создает гасящую интерференцию - волна, отраженная от линзы гасит волну, отраженную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



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

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.



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, 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 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.





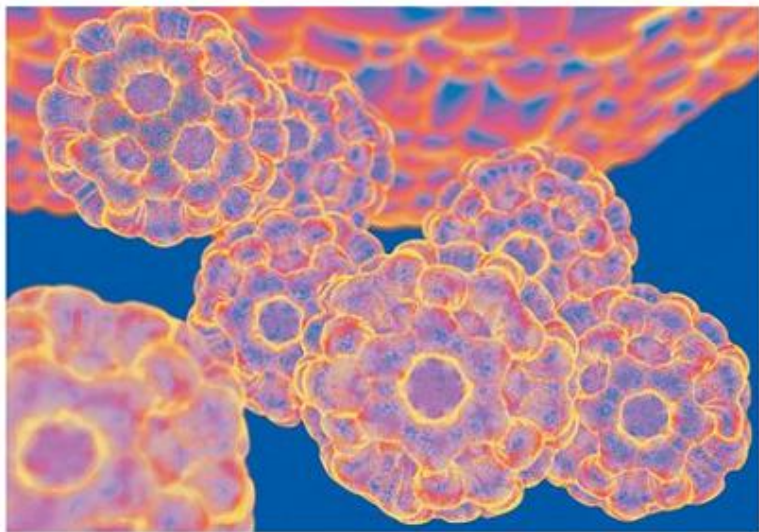
4



АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОРИИ

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 бакиболлс - 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.

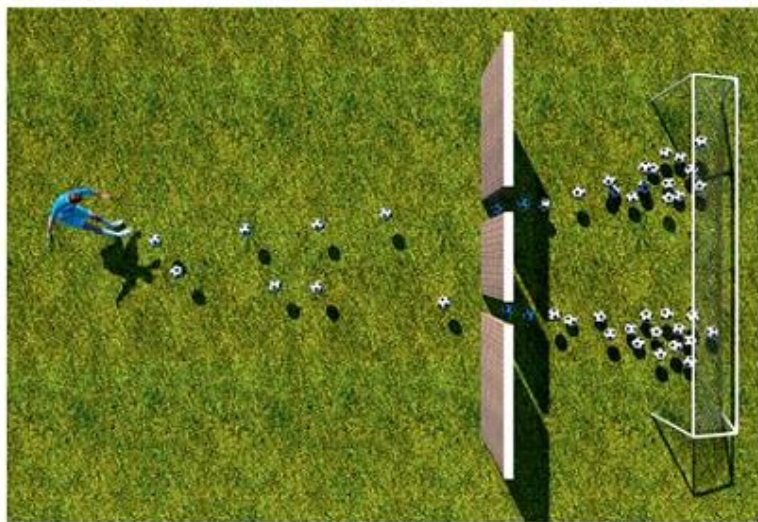


Бакиболы. Бакиболы как микроскопические футбольные мячи, сделанные из атомов углерода.

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 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.

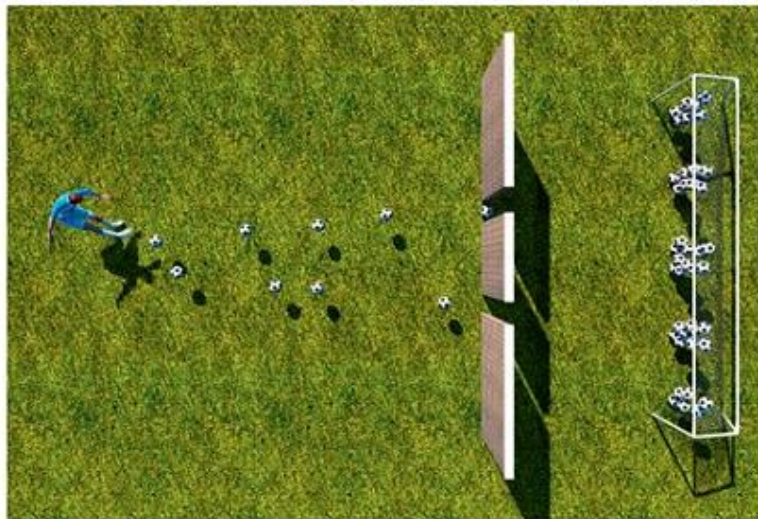
Заметим, что если мы закроем одно из отверстий соответствующий поток мячей сквозь него больше не пройдёт, но на другой поток это никакого эффекта не окажет. Если мы снова откроем второй промежуток, это только увеличит количество мячей, приземлившись в любой данной точке с другой стороны, где мы получим 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.



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 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 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, 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, 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 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 Ньютонической теории поэтому соответствуют представлению о реальности, в которой

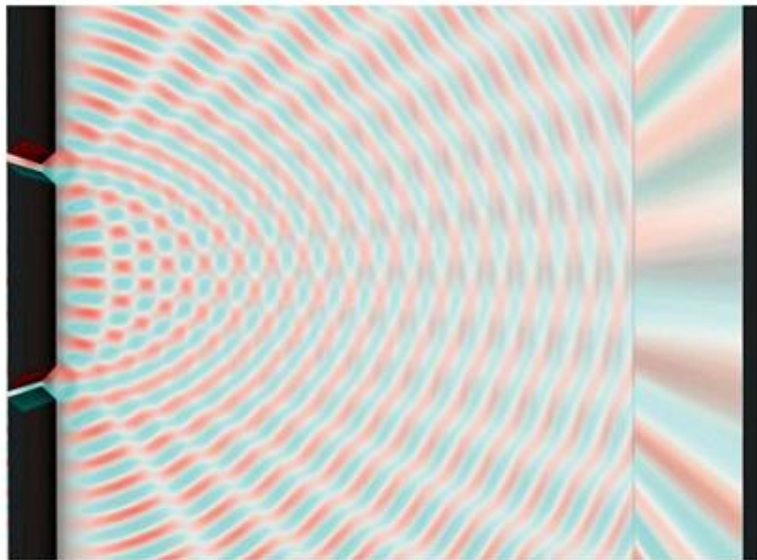
мы развиваемся, как познаем мир вокруг нас. Но уникальные атомы и молекулы взаимодействуют совсем по-другому, чем принято в нашей повседневной жизни. Квантовая физика - новая модель реальности, дающая нам картину Вселенной. Это - картина, в которой у многих понятий, фундаментальных для нашего интуитивного 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, 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 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.



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 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, 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



*“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 определённая 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 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 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 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 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 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 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 разошлись 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 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.



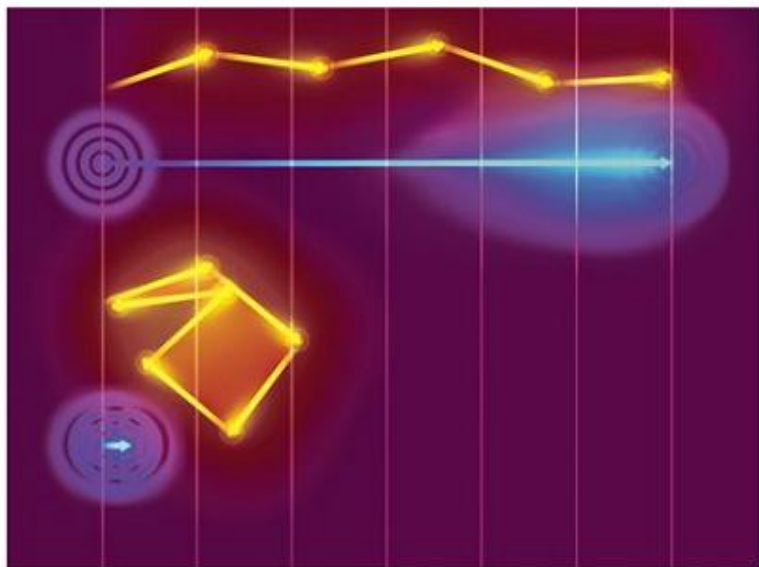
Траектории частиц. Фейнмановская формулировка квантовой теории объясняет, почему частицы – барионы и электроны – создают интерференционную картину, проходя через щели на экране.

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 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 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.

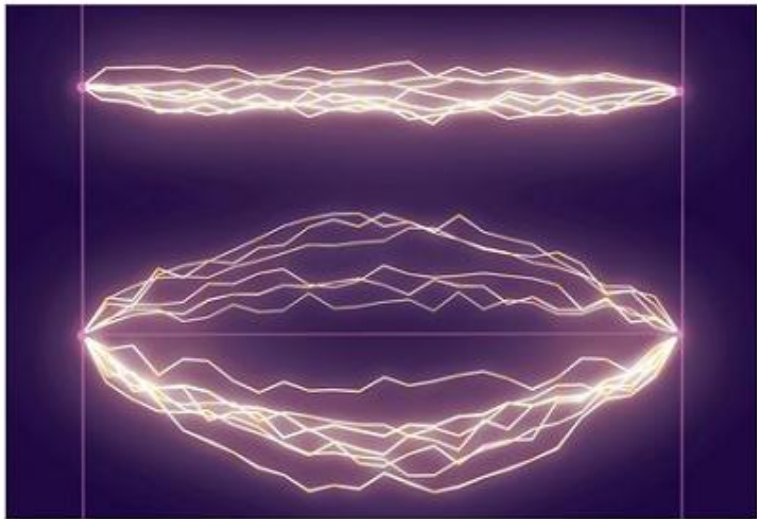
Для выполнения условий Фейнмана по расчёту вероятностной амплитуды, что частица из пункта А достигнет пункта Б, вы просто складываете фазы или стрелы, представляющими все пути, связывающие А и Б. Существующих путей бесконечно много, что слегка усложняет расчёты, но этот способ работает. Некоторые пути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



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 Ньютонovu картину мировосприятия из квантовой физики, кажущейся совершенно

отличной. Согласно Фейнмановой теории, фазы связанные с каждым путём зависят от 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 двигаются именно так, как предсказывает теория Ньютона.



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 уравниваться.

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 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. 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, на этот раз, освещая прорези 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 прорези 1 и к В, или от А к прорези 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 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 одного наблюдения, но прошлое существует так же несомненно, как будто Вы сделали серию его снимков. Но нельзя сказать, что

квантовый бакиболл проделал определенный путь от источника до экрана. Мы могли бы точно определить местоположение бакиболла, 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 не попадает на детекторный экран.

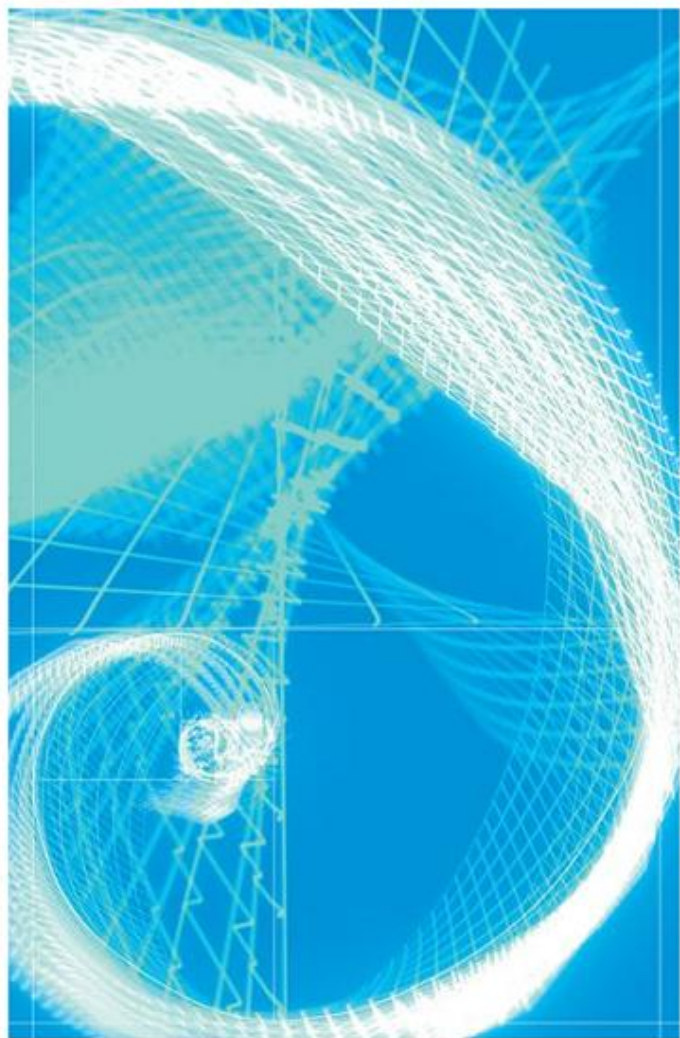
Эксперименты с отложенным выбором имеют своим результатом данные, идентичные тем, что мы

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, 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.





5



ТЕОРИЯ ВСЕГО

Самое непостижимое во Вселенной то, что она постижима.

- АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

ВСЕЛЕННАЯ 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 был бы лишний

светлый день, чтобы успеть закончить сражение Аморреев 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 отталкиваются 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 почти

уравновешивают друг друга, в отличие от сил гравитации, которые складываются.

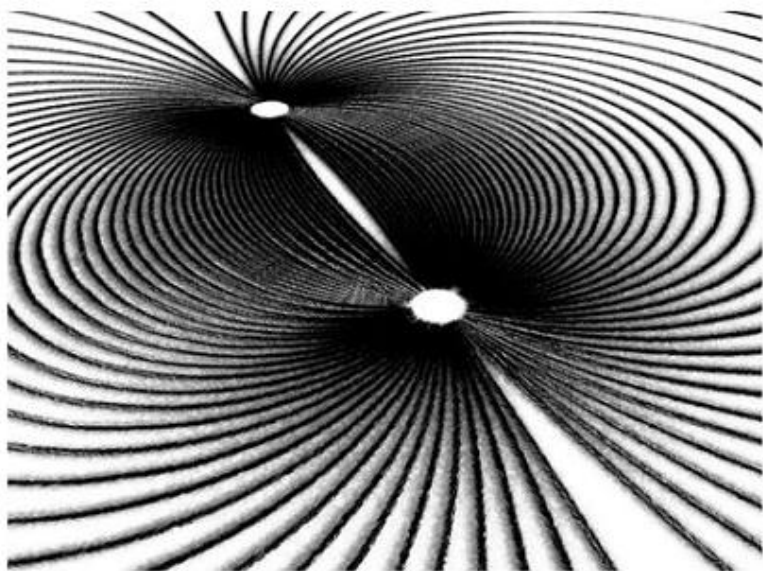
Наше нынешнее понятие об электричестве и магнетизме были сформированы за период около ста лет, с середины 18 и до середины 19 веков, когда физики нескольких стран, проводя тщательные эксперименты, изучали электрические и магнитные силы. Одним из важнейших открытий является то, что электрические и магнитные 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. 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 семье 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 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 рядами 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.



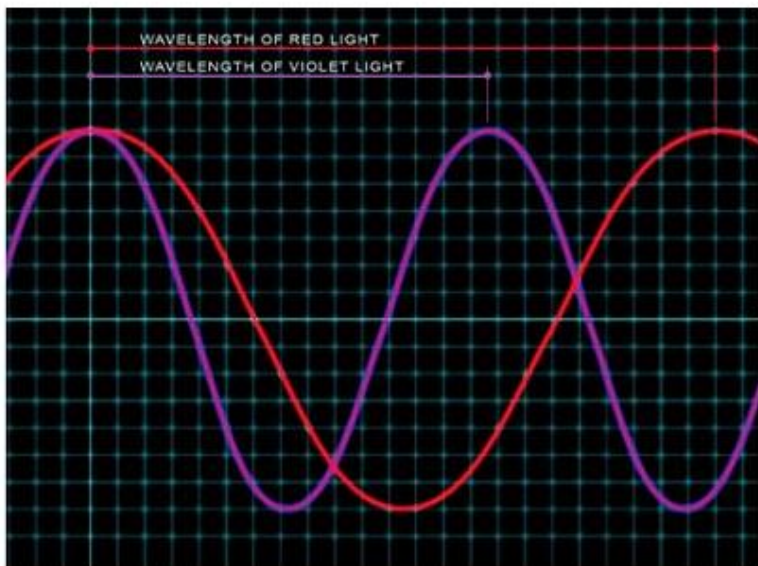
Силовое поле. Силовое поле стержневого магнита, проиллюстрированное реакцией железных опилок.

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 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, 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 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, 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

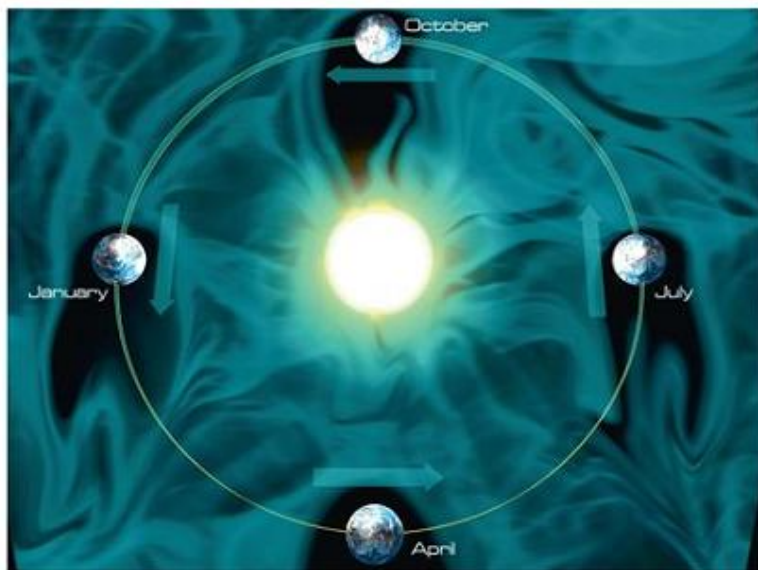
измерена относительно дороги, а не черной дыры в центре Млечного пути. Но даже в повседневной жизни есть случаи, в которых Вы должны принять во внимание систему координат. Например, если Вы несете чашку чая по проходу реактивного самолета в полете, Вы могли бы сказать, что Ваша скорость составляет 2 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, 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 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.



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 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 сэра Уильяма Томсона (Лорд Келвин) сказал 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 Антун 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 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 между началом распространения луча вдоль самолета и его окончанием.

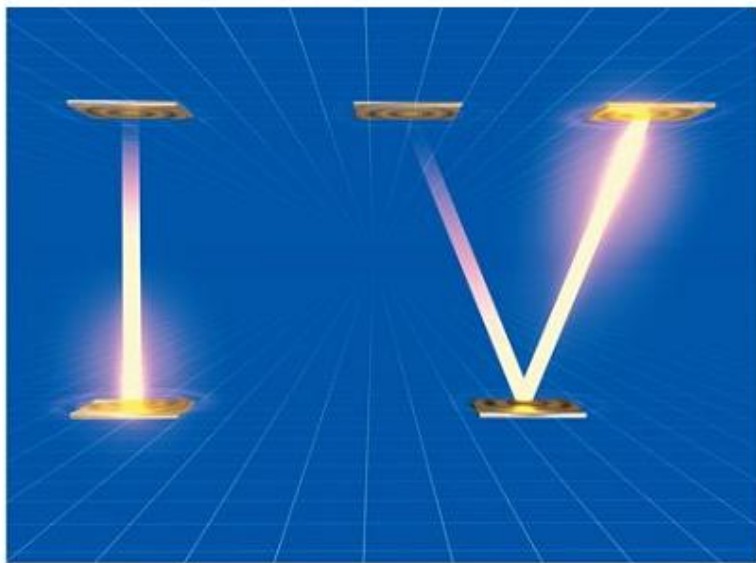


На Борту Самолета. Если вы бросаете мяч на самолете, то наблюдатель на борту может обнаружить, что мяч каждый раз ударяется в одно и то же место, в то время как наблюдатель на Земле будет фиксировать огромную разницу в точках соударения.

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 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.



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, 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, 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, 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 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 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 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.

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 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:

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.

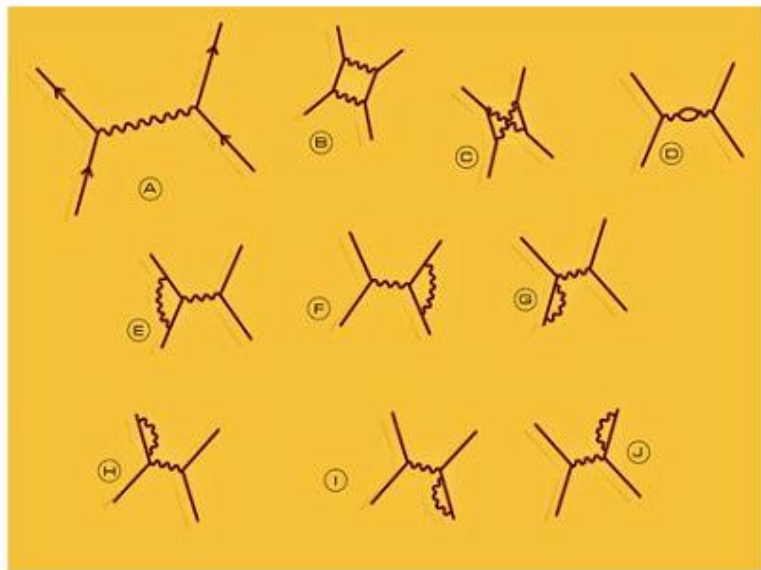
4. Сильное ядерное взаимодействие. Эта сила удерживает вместе протоны и нейтроны в ядре атома. Она также удерживает от распада сами протоны и нейтроны, что необходимо, потому что они сделаны из еще более крошечных частиц, кварков, которые мы упоминали в Главе 3. Сильное взаимодействие - источник солнечной 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 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 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 должны также учитывать диаграммы, подобные (В). 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 разлететься. 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.

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, 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 - 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.



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 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.

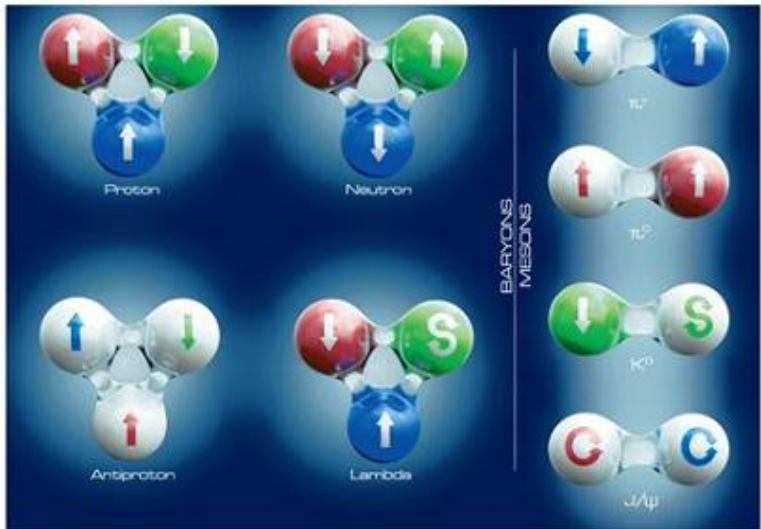
Сильное взаимодействие может быть перенормировано само по себе в теории, названной QCD или квантовая хромодинамика. Согласно QCD, протон, нейтрон, и многие другие элементарные частицы материи образованы из кварков, у которых есть замечательное свойство, которое физики называют цветом (отсюда и термин "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, 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 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 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. 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 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”*

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 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 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 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 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 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 изведываем 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. 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 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.

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

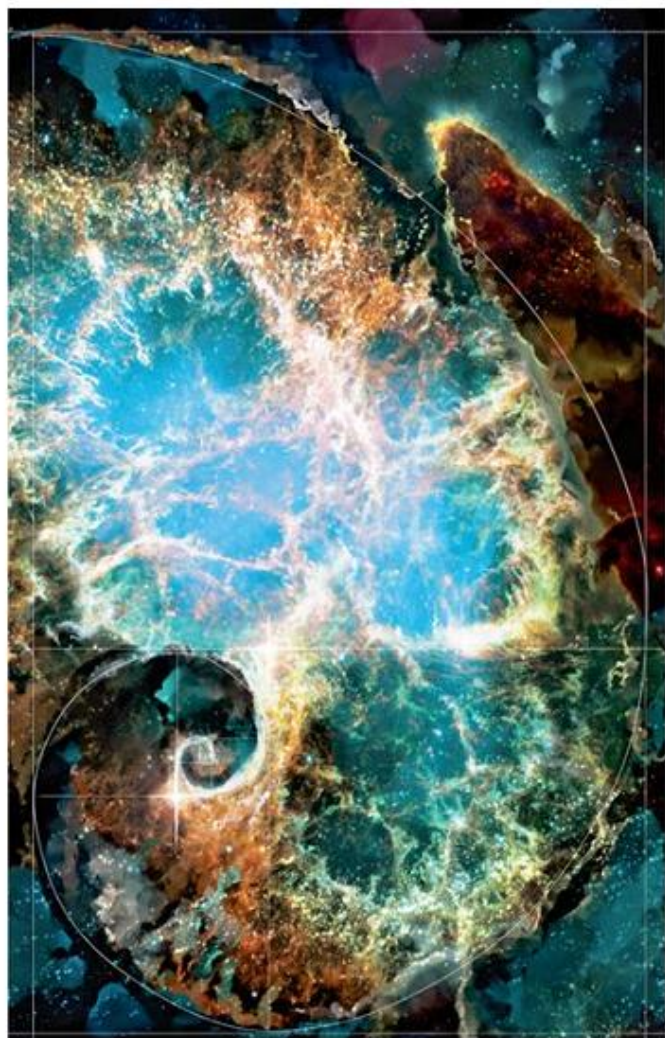
Вселенной - законы четырех сил и параметров, таких как масса и заряд, характеризующих элементарные частицы. Но более фундаментальные законы - законы М-теории.

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





6



ВЫБИРАЯ НАШУ ВСЕЛЕННУЮ

С О Г Л А С Н О В Е Р О В А Н И Я М Б А Ш О Н Г О ,

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 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 Адама и Еву всего за шесть дней. Епископ Асшер, примас 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 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 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 расширилось 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 расширились бы пропорционально, и мы не заметили бы различия.



Вселенная на Воздушном Шарике. 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 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, 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 прослеживаете 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 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

СМВР, 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 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 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, эта 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

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 позже измерены его приемником, 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 прединфляционной ранней Вселенной.

Инфляция объясняет взрыв в Большом Взрыве, 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 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.

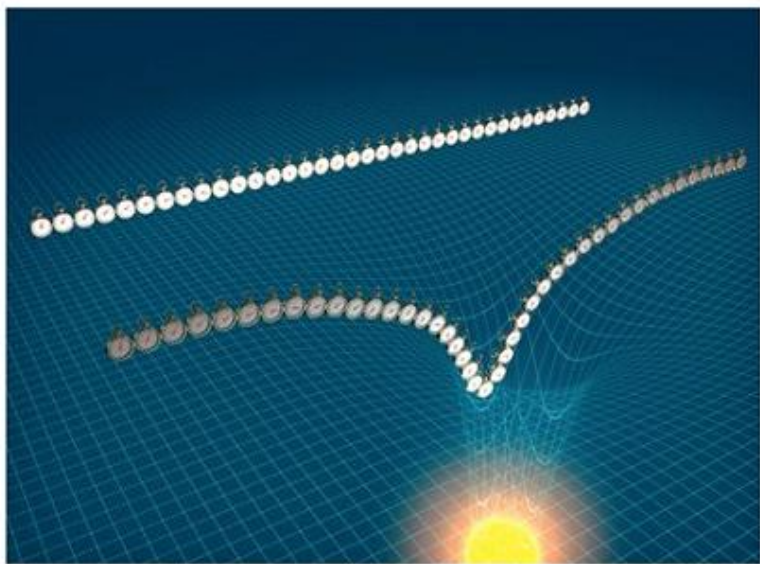
Чтобы видеть, как это работает, мы должны понять принцип, что гравитация деформирует пространство и время. Искривление пространства легче визуализировать, чем искривление времени. Представьте, что Вселенная - поверхность плоского бильярдного стола. Поверхность стола - плоское место, по крайней мере в 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 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 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, охватывающей 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.



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 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 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. 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 неограниченным 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 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 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 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,

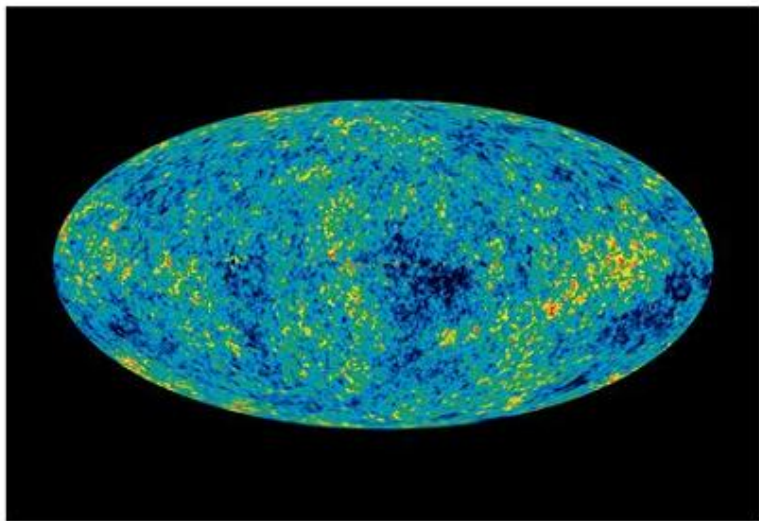
однако, вырастут достаточно крупными, чтобы можно было избежать повторного коллапса. Они будут продолжать расширяться в размере и формировать пузыри, которые мы можем видеть. Они соответствуют вселенным, которые начинают расширение в размере, другими словами, вселенные находятся в состоянии инфляции.



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 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.



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 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 единственная развитие событий, с четкой отправной точкой и эволюцией. Вместо этого нужно проследить события с верха вниз, назад от 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. 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, 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 - китаец. Мы знаем, что он немец, даже при том, что вероятность, что он - китаец, выше, потому что 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.

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. 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 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 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?





7



НЕСОМНЕННОЕ ЧУДО

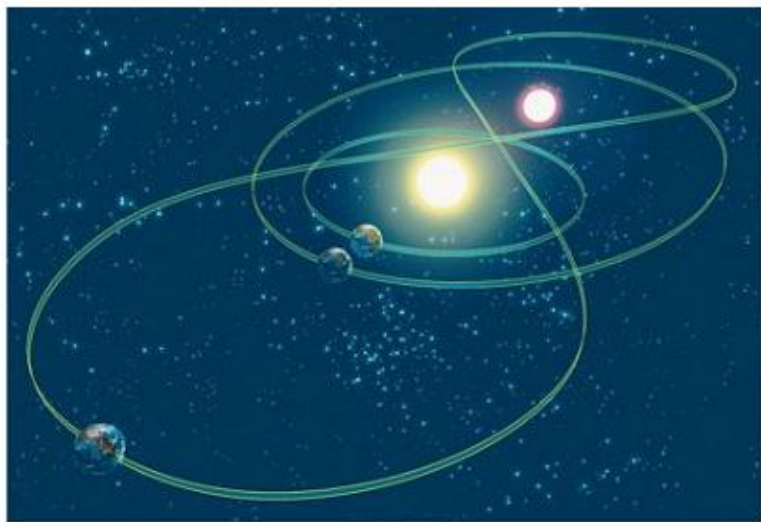
КИТАЙЦЫ РАССКАЗЫВАЮТ О ВРЕМЕНИ

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 развиваться 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 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.

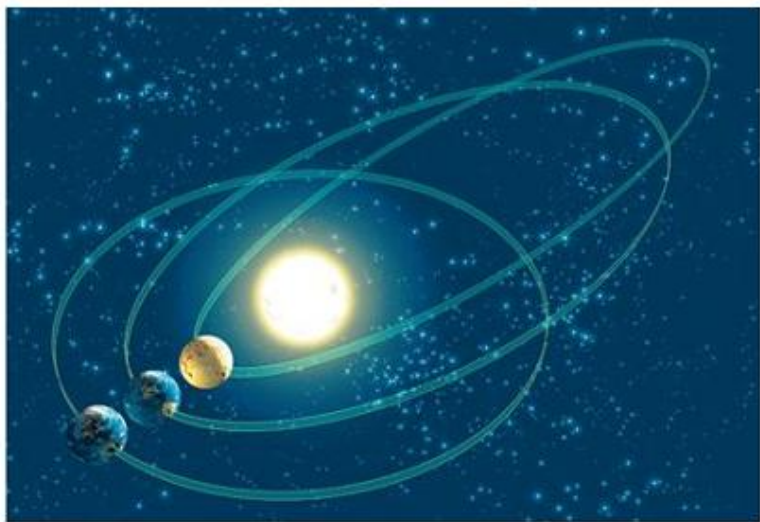
Наша солнечная система имеет другую "счастливую" особенность, без которой сложные жизненные формы никогда бы не смогли развиваться. Например, законы Ньютона разрешают орбитам планет иметь либо форму окружности, либо эллипса (Эллипсы являются сплюснутыми окружностями, шире по одной оси и уже по другой). 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.



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 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 замерзали, 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.

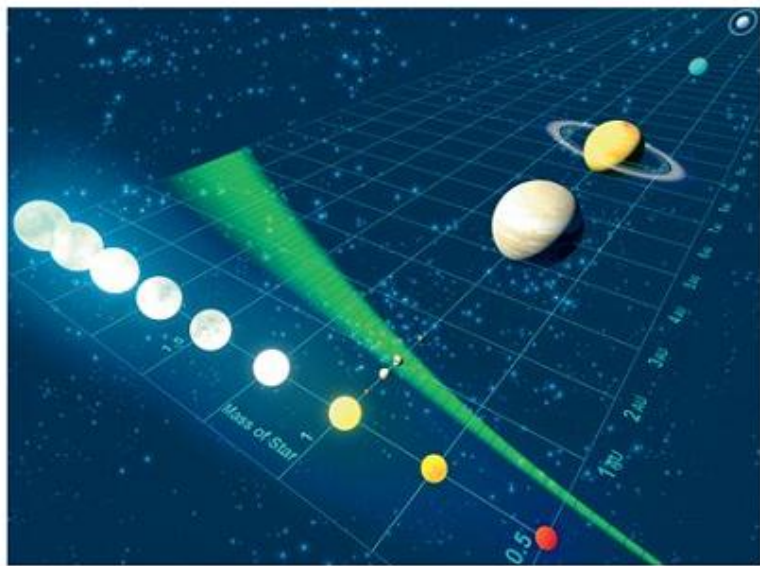


Эксцентриситеты. Эксцентриситет - мера близости эллипса к кругу. Круговые орбиты являются дружественными по отношению к жизни, в то время как очень удлиненные орбиты приводят к большим сезонным колебаниям температуры.

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, 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!



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 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 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 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, 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, 0.00000000001, 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.

Счастливые стечения 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 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 является 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, 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 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 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

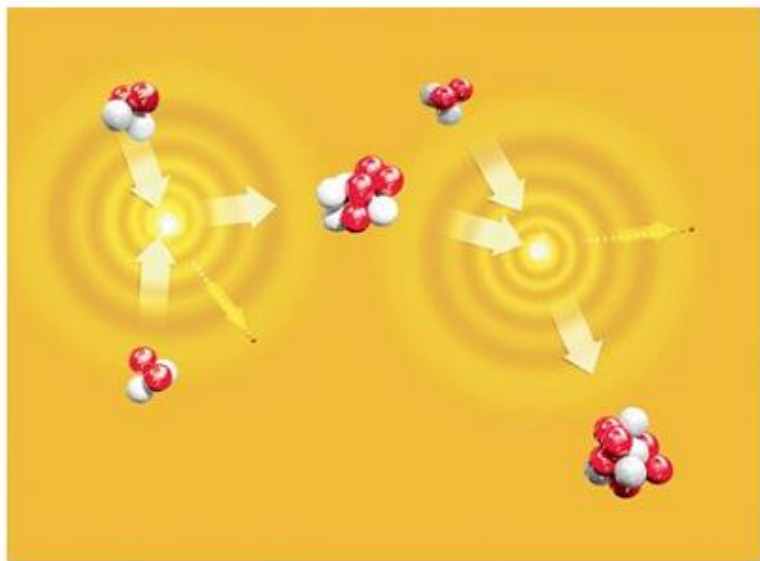
экзотической жизни не мог бы эволюционировать из первоначальных элементов, которые могут формировать только две стабильные структуры, гидрид лития, который является прочным кристаллическим бесцветным веществом, и водородный газ, ни один из них не способен не только воспроизводиться, но и даже "любить". 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, в принципе, соединиться 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 распаться. 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.



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 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 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 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 соответствии 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 спирали либо к Солнцу, либо от него, и тогда мы либо сгорим, либо замерзнем. А в более чем трехмерном измерениях 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 трехмерном измерении 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 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 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 определено, 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 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".

В западной культуре Ветхий Завет содержит идею о predetermined 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 неodarвинизму 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, 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, 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 другие теории 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 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.

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 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?





8



ВЕЛИКИЙ ЗАМЫСЕЛ

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.

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, 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 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:

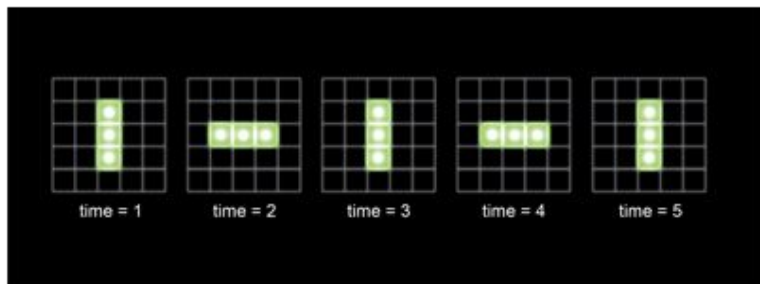
1. Живая клетка, рядом с которой находятся две или три живые клетки выживает.

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.

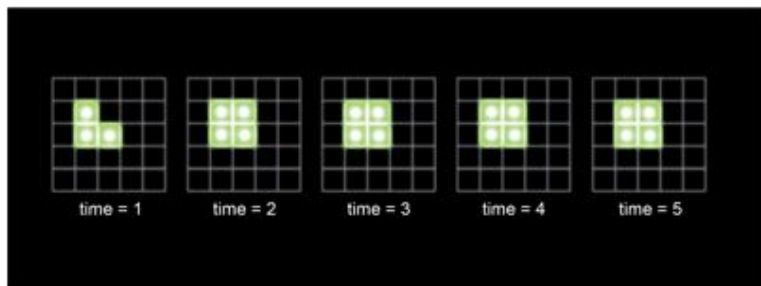
Это все правила, приступим. Дается начальное условие, и законы начинают порождать поколение за поколением. Изолированные одна живая клетка или

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".



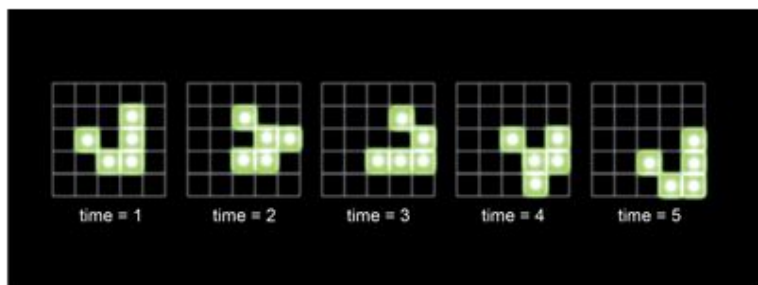
Реле. Реле является простейшим типом композитного объекта в Игре Жизни.

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.



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.



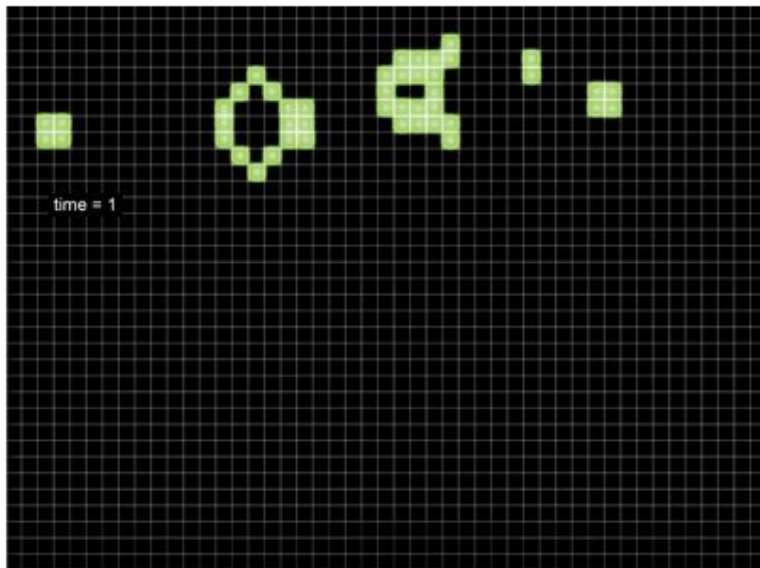
Глизсеры. Глизсеры трансформируются и вновь принимают первоначальную форму, оказываясь смещенными по диагонали на одну клетку.

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 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.

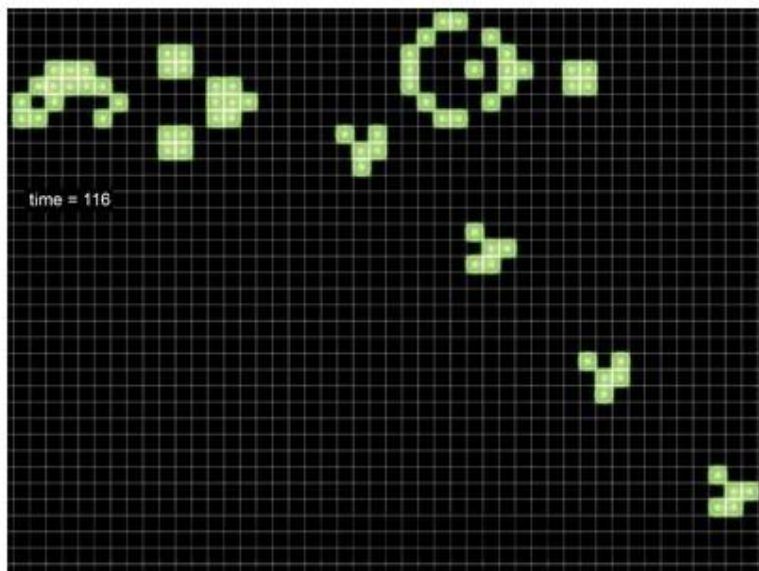


Начальная Конфигурация Производителя Глиссеров.

Производитель глиссеров приблизительно в десять раз больше глиссера.

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 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.



Производитель Глиссеров После 116 Шага. Со временем производитель глиссеров 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 2x2 блоком живых клеток. Если "глиссеры" приближаются нормальным образом, то блок, который является стационарным, начнет двигаться к источнику

"глиссер", либо от него. Таким образом, блок может имитировать компьютерную память. Фактически, все основные функции современного компьютера, такие как логические элементы AND и OR, также могут быть воспроизведены "глиссерами". Таким образом, как электрические сигналы используются в физических компьютерах, поток "глиссеров" может использоваться для посылки 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 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, 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, означаящим, 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 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, 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. 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 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.



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 отличие от более фундаментальных законов М-Теорий, эти

допускают различные вселенные с различными законами.

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.

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.

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.

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.

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 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 элементов в звёздах и ранней Вселенной.

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 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

“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

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

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
warping 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

relativity

Thomson, J. J.

Time. *See also* Space-time

beginning of

clock in airplane experiment

special theory of relativity and

time dilation

warping 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

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

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.