

СОДЕРЖАНИЕ

Введение в окончательную теорию.....	9
1 Объединение — древняя мечта.....	15
2 Эйнштейн: поиск путей объединения.....	41
3 Квантовый восход.....	63
4 Теория почти всего.....	91
5 Темная Вселенная.....	123
6 Теория струн: перспективы и проблемы ...	161
7 Поиски смысла Вселенной.....	205
Благодарности.....	223
Об авторе.....	225
Литература	226
Примечания	229
Предметно-именной указатель	240

ВВЕДЕНИЕ В ОКОНЧАТЕЛЬНУЮ ТЕОРИЮ

Эта теория должна была стать окончательной, эдакой универсальной основой, которая объединяет все силы космоса и объясняет все, начиная от движения расширяющейся Вселенной и заканчивая филигранным танцем элементарных частиц. Требовалось лишь найти уравнение, которое с математической четкостью описывало бы всю физику.

За поиски брались самые выдающиеся физики мира, включая и Стивена Хокинга, который даже сделал доклад с многообещающим названием «Близок ли конец теоретической физики?».

В случае успеха такая теория стала бы подлинным венцом науки. Осуществилась бы заветная цель физики — создание единственной формулы, из которой, в принципе, можно вывести уравнения для всех состояний Вселенной, от начала мира до его конца. Это был бы конечный результат научных исследований, которые ведутся вот уже 2000 лет с той поры, когда у древних возник вопрос: как устроен этот мир?

От одной мысли об этом захватывает дух.

Мечта Эйнштейна

Мне было восемь лет, когда я впервые узнал об этой мечте. Газеты сообщали о смерти великого ученого и публиковали незабываемую фотографию.

Это было фото рабочего стола ученого с раскрытым блокнотом. В подписи под ним говорилось, что величайший ученый нашего времени не смог завершить начатую работу. Я был поражен до глубины души. Какая задача может быть настолько сложной, что даже великий Эйнштейн не сумел решить ее?

В блокноте оказалась незавершенная теория всего — Эйнштейн называл ее единой теорией поля. Он хотел найти емкое и короткое уравнение, которое позволило бы, по его собственным словам, «читать мысли Бога».

Не в состоянии до конца оценить грандиозность подобной задачи, я решил пойти по стопам этого великого человека, надеясь внести хотя бы минимальный вклад в реализацию идеи.

Попыток решить эту задачу было немало, но все они закончились неудачей¹. Как заметил однажды принстонский физик Фримен Дайсон, дорога к единой теории поля усеяна останками неудачных попыток.

Впрочем, сегодня многие ведущие физики считают, что мы наконец приблизились к решению.

Главный (а на мой взгляд, и единственный) кандидат на роль теории всего называется теорией струн, которая утверждает, что Вселенная состоит не из точечных частиц, а из крохотных колеблющихся струн, каждая нота которых соответствует элементарной частице.

Если бы у нас был достаточно мощный микроскоп, мы увидели бы, что электроны, кварки, нейтрино и т. п. представляют собой не что иное, как колебания крохотных нитей, напоминающих натянутую резинку. Если дергать такую резинку по-разному достаточное число раз, то в итоге мы получим все известные элементарные частицы Вселенной. Это означает, что все законы физики могут быть сведены к гармониям таких струн. Химия — это мелодии, которые можно сыграть на струнах. Вселенная — это симфония. А мысли Бога, о которых так красноречиво писал Эйнштейн, — это космическая музыка, резонирующая в пространстве-времени.

И вопрос это не только академический. Каждый раз открытие новых законов физики меняет ход развития цивилизации и судьбу человечества. Так, Ньютоновы законы движения и тяготения заложили основу для века машин и промышленной революции. Майкл Фарадей и Джеймс Клерк Максвелл заложили основы теории электричества и магнетизма, что позволило нам осветить города, создать мощные электрические моторы и генераторы, а также такие средства связи, как телевидение и радио. Эйнштейнова формула $E = mc^2$ объяснила, откуда черпают энергию звезды, и помогла овладеть энергией атома. Создатели квантовой механики Эрвин Шрёдингер и Вернер Гейзенберг вместе с другими физиками положили начало сегодняшней высокотехнологической революции с суперкомпьютерами, лазерами, интернетом и потрясающими гаджетами в наших гостиных.

В конечном итоге все чудеса современных технологий — это результат открытий ученых, изучавших фундаментальные взаимодействия нашего мира. В настоящее время наука, похоже, близка к созданию теории, которая объединит все четыре силы природы — гравитацию, электромагнетизм, а также сильные и слабые ядерные взаимодействия. В итоге это позволит разгадать такие величайшие загадки науки, как:

- Что происходило до Большого взрыва? Почему вообще произошел этот взрыв?
- Что находится с другой стороны черной дыры?
- Возможны ли путешествия во времени?
- Существуют ли кротовые норы, которые ведут в другие вселенные?
- Существуют ли более высокие измерения?
- Существует ли мультивселенная, состоящая из множества параллельных вселенных?

Эта книга повествует о поисках окончательной теории и о невероятных событиях одной из самых удивительных страниц истории физики. Мы вспомним открытия прошлого, давшие начало чудесам технологий, — от Ньютоновой революции и изучения электромагнетизма, осмысления теории относительности и квантовой механики до современной теории струн. Мы объясним, что эта теория даст для решения величайших загадок пространства и времени.

Армия критиков

Однако на этом пути еще много препятствий. При всем энтузиазме, который вызвала теория струн, есть немало критиков, не упускающих случая, чтобы указать на ее недостатки. И в какой-то момент, после всей шумихи и ажиотажа, реальный прогресс застыл.

Самая очевидная проблема состоит в том, что, несмотря на лестные репортажи прессы, расписывающие красоту и сложность этой теории, надежных и проверяемых доказательств у нас нет. Надежды на то, что Большой адронный коллайдер (БАК) близ Женевы в Швейцарии — крупнейший в истории ускоритель частиц — поможет получить конкретные свидетельства в пользу окончательной теории, не оправдываются. С помощью БАКа удалось обнаружить бозон Хиггса (или, как его иногда называют, частицу Бога), но эта частица — лишь одно из многих недостающих крохотных звеньев окончательной теории.

Хотя сегодня и выдвигаются амбициозные предложения построить еще более мощный ускоритель — преемник БАКа, нет никаких гарантий, что подобные дорогостоящие установки смогут вообще что-то найти. Никто не знает наверняка, при какой энергии мы обнаружим новые элементарные частицы, способные подтвердить теорию.

Но, пожалуй, наиболее серьезную критику теории струн вызывает то, что она предсказывает существование мультивселенной, состоящей из множества вселенных. Эйнштейн однажды сказал,

что ключевой вопрос звучит так: был ли у Бога выбор при сотворении Вселенной? Единственна ли наша Вселенная? Сама по себе теория струн единственна, но, видимо, у нее бесконечное множество решений. Тот факт, что наша Вселенная может представлять собой лишь одно из бесчисленных равноценных решений, физики называют проблемой ландшафта. Если наша Вселенная — одна из множества возможных, то которая из возможных вселенных наша? Почему мы живем именно в этой вселенной, а не в другой? В чем же тогда заключается прогностическая сила теории струн? Что это — теория всего или теория чего угодно?

Признаюсь, что я тоже принимаю участие в этом поиске. Я работаю над теорией струн с 1968 г., с момента ее появления — случайного, необъявленного и совершенно неожиданного. Я был свидетелем невероятной эволюции этой теории, развившейся из одной-единственной формулы в дисциплину, исследовательские работы по которой составляют целую библиотеку. Сегодня теория струн используется как основа для многих новых исследований, над которыми работают в ведущих лабораториях мира. Надеюсь, эта книга дает взвешенный и объективный анализ теории струн, ее прорывных открытий и недостатков.

Она объясняет также, почему этот поиск захватил воображение самых известных ученых мира и почему теория струн порождает такие страсти и противоречия.

ОБЪЕДИНЕНИЕ — ДРЕВНЯЯ МЕЧТА

Сияющее великолепие ночного неба с бесчисленными звездами наполняет нас восторгом. Мысли поневоле обращаются к величайшим загадкам.

Соответствует ли Вселенная какому-то общему замыслу?

Как мы постигаем смысл бессмысленного, казалось бы, космоса?

Есть в нашем существовании гармония и причина — или все это надуманно?

Мне вспоминается стихотворение Стивена Крейна:

Человек сказал Вселенной:

— Смотри! Я существую!

— Да, — ответила Вселенная. —

Но сей факт еще не означает,

Что я должна о тебе заботиться*.

* Перевод А. Кудрявицкого.

Греки одними из первых всерьез попытались упорядочить хаос окружающего мира. Философы, например Аристотель, считали, что все вокруг может быть сведено к сочетанию четырех основных компонентов: земли, воздуха, огня и воды. Но каким образом из четырех элементов складывается столь сложный мир?

Греки предлагали минимум два ответа на этот вопрос. Первый ответ еще до Аристотеля дал философ Демокрит. Он считал, что все вокруг состоит из крохотных, невидимых и неразрушимых частиц, так называемых атомов (что по-гречески означает «неделимые»). Критики, однако, указывали, что прямые доказательства их существования получить невозможно, так как атомы слишком малы для непосредственных наблюдений. Но Демокрит сумел привести убедительные косвенные свидетельства.

Возьмем, например, золотое кольцо. С годами оно изнашивается. Что-то теряется. Каждый день с кольца стираются крохотные кусочки вещества. Следовательно, хотя атомы невидимы, об их существовании можно судить косвенным образом.

Даже сегодня наша продвинутая наука в основном опирается на косвенные свидетельства. Состав Солнца, детальную структуру ДНК, возраст Вселенной и многое другое мы знаем только благодаря непрямым измерениям. Мы знаем все это, хотя никогда не летали к звездам, не проникали в молекулу ДНК и не наблюдали Большой взрыв. Разница между прямыми и косвенными свидетельствами становится принципиально важной, когда мы говорим о попытках доказать единую теорию поля.

Второй подход предложил великий математик Пифагор.

К Пифагору пришло озарение, и он решил применить математическое описание к такому земному явлению, как музыка. По легенде, он заметил сходство между звуком, который производит струна лиры, и колебаниями, возникающими при ударе молотком по металлическому стержню. Он обнаружил, что и то и другое порождает музыкальные частоты определенного диапазона. Получилось, что нечто эстетически привлекательное, такое как музыка, берет свое начало в математике колебаний. Возможно, это наглядно показывает, что все разнообразие объектов вокруг нас должно подчиняться все тем же математическим правилам.

Итак, по крайней мере две великие теории нашего мира зародились в Древней Греции: идеи о том, что все состоит из невидимых и неразрушимых атомов, и о том, что все разнообразие природы можно описать с помощью математики колебаний.

К несчастью, с падением античной цивилизации подобные философские рассуждения и дебаты прекратились. Самую идею о возможности существования некой парадигмы, объясняющей Вселенную, забыли почти на тысячу лет. Тьма расплзлась по всему западному миру, и место научных изысканий заняли суеверия, магия и колдовство.

Эпоха Возрождения

В XVII веке все же нашлись ученые, осмелившиеся бросить вызов установившемуся порядку и начать исследование природы Вселенной, однако они столк-

нулись с жестким неприятием и преследованиями. Иоганн Кеплер, одним из первых применивший математику к движению планет, был имперским советником при императоре Рудольфе II и сумел избежать преследований, возможно потому, что благочестиво включал в свои работы религиозные элементы.

Бывшему монаху Джордано Бруно повезло меньше. В 1600 г. он был приговорен судом к смерти как еретик. С кляпом во рту его провели нагим по улицам Рима и после этого сожгли на костре. В чем было его преступление? В заявлении о том, что жизнь возможна и на планетах, обращающихся вокруг других звезд*.

Великий Галилей, отец экспериментальной науки, едва избежал такой же судьбы. Но, в отличие от Бруно, под угрозой смерти Галилей отрекся от своих теорий. Тем не менее он оставил человечеству в наследство телескоп — пожалуй, самое революционное и крамольное изобретение в истории науки. При помощи телескопа можно собственными глазами увидеть, что Луна испещрена кратерами; что Венера проходит через фазы, соответствующие ее движению вокруг Солнца; что у Юпитера есть собственные луны, — а ведь все это были еретические идеи.

Как ни печально, Галилея поместили под домашний арест и изолировали от общения с посетителями; в конце концов он ослеп. (Как говорили, произошло это потому, что однажды он посмотрел

* Реальная история осуждения Бруно более сложна. — *Прим. науч. ред.*

в свой телескоп прямо на Солнце.) Галилей умер сломленным человеком. Но в год его смерти в Англии родился ребенок, которому суждено было завершить незаконченные теории Галилея и Кеплера и представить нам единую теорию небесной механики.

Ньютонова теория сил

Исаак Ньютон, возможно, величайший ученый в истории человечества. В мире, одержимом чародейством и колдовством, он осмелился сформулировать универсальные законы небесной механики и применить к изучению природных взаимодействий новые изобретенные им математические методы, получившие название интегрального и дифференциального исчисления. Как написал физик Стивен Вайнберг, «именно с Исаака Ньютона по-настоящему начинается современная мечта об окончательной теории»¹. В свое время теория Ньютона считалась теорией всего, то есть описывающей любое движение.

Все началось, когда Ньютону было 23 года. Кембриджский университет был закрыт из-за чумы. Как-то раз в 1666 г., гуляя по имению, он увидел, как падает яблоко, — и задал себе вопрос, которому суждено было изменить ход человеческой истории.

Если яблоко падает, то не падает ли также и Луна?

До Ньютона церковь учила, что существует два типа законов. Законы первого типа, которые действуют на Земле, опорожены грехами смертных. Ко второму типу относились чистые, совершенные и гармоничные законы небес.

Ньютон фактически предположил, что существует единая теория, распространяющаяся и на небеса, и на Землю.

В своей записной книжке он нарисовал судьбоносную картинку (см. рис. 1).

Если выстрелить из пушки с горной вершины, то ядро, прежде чем упасть на землю, пролетит какое-то расстояние. Но если стрелять из пушки так, чтобы скорость ядра раз от раза возрастала, то до момента падения оно будет улетать все дальше и дальше и в конце концов обогнет земной шар и вернется на ту горную вершину, с которой вылетело. Ньютон заключил, что закон природы, который управляет движением и яблок, и пушечных ядер, — закон тяготения — удерживает и Луну на ее орбите вокруг Земли. Землей и небесами управляет одна и та же физика.

Для этого Ньютону потребовалось ввести понятие сил. Объекты двигаются потому, что их тянут или толкают силы, которые универсальны и могут быть измерены точно и математически. (До этого некоторые теологи считали, что объектами движут желания, и, соответственно, предметы падают, потому что стремятся соединиться с Землей.)

Таким образом, Ньютон предложил ключевую концепцию унификации.

Однако ученый славился скрытностью и держал свою работу по большей части в секрете. У него было мало друзей, он не любил светские разговоры и часто вступал с другими учеными в ожесточенные перепалки, отстаивая приоритет своих открытий.

В 1682 г. произошло сенсационное событие, изменившее ход истории. На небосводе появилась яркая

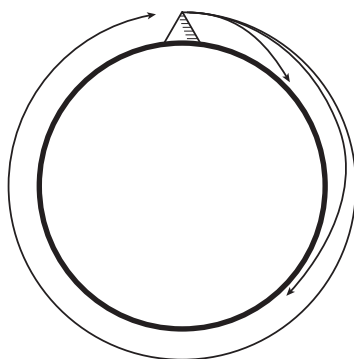


Рис. 1. Если стрелять так, чтобы пушечное ядро получало раз от раза все большую энергию, то в конечном итоге оно обогнет Землю и вернется в начальную точку. Затем Ньютон сказал, что этим объясняется и траектория движения Луны, объединив таким образом физические законы Земли с законами движения небесных тел

комета. Все, от королей и королев до нищих, горячо обсуждали связанные с ней новости. Откуда она взялась? Куда направляется? Что предвещает?

Одним из тех, кто проявлял к этой комете особый интерес, был астроном Эдмунд Галлей. Он съездил в Кембридж, чтобы встретиться со знаменитым Исааком Ньютоном, хорошо известным к тому моменту благодаря его теории света. (Пропустив солнечный луч через стеклянную призму, Ньютон показал, что белый свет расщепляется на все цвета радуги, то есть на самом деле состоит из множества цветов. Кроме того, Ньютон изобрел новый тип телескопа, в котором вместо линз использовались зеркала.) Спросив о комете, которую обсуждали все вокруг, Галлей с изумлением услышал в ответ: Ньютон может доказать, что кометы движутся по эллипти-

ческим орбитам вокруг Солнца, и даже предсказать их траекторию, опираясь на свою теорию тяготения. Мало того, Ньютон наблюдал за кометами в телескоп своей конструкции, и они двигались в точности так, как он предсказывал.

Галлей был ошеломлен.

Он сразу же понял, что стал свидетелем эпохального события в науке, и предложил оплатить стоимость печати труда, которому суждено было стать одним из величайших шедевров науки, — трактата «Математические начала натуральной философии», известного также как просто «Начала».

Более того, поняв, что, по прогнозу Ньютона, кометы могут возвращаться к Солнцу через регулярные интервалы времени, Галлей рассчитал, что комета 1682 г. должна вернуться в 1758 г. (Комету Галлея заметили над Европой в день Рождества 1758 г., как и предсказывалось, и это еще больше укрепило посмертную репутацию Ньютона и Галлея.)

Теория движения и гравитации Ньютона считается одним из величайших достижений человеческого разума, это единый принцип, включивший в себя известные законы движения. Александр Поуп написал:

Природы строй, ее закон
В извечной тьме таился.
И Бог сказал: «Явись, Ньютон!»
И всюду свет разлился*.

* Перевод А. Павлова.

Даже сегодня именно законы Ньютона позволяют инженерам NASA вести космические зонды по просторам Солнечной системы.

Что такое симметрия?

Закон всемирного тяготения Ньютона тоже заслуживает внимания, поскольку обладает симметрией: при перестановке частей уравнение сохраняет свой вид. Представьте себе сферу, которая окружает Землю. В каждой ее точке сила тяготения совершенно одинакова. Именно поэтому наша Земля имеет форму шара, а не какую-то иную форму: тяготение равномерно сжало Землю со всех сторон. Именно поэтому мы не видим в космосе ни кубических звезд, ни пирамидальных планет. (А вот небольшие астероиды часто имеют неправильную форму, потому что тяготение слишком слабо действует на них и не может сжать их равномерно.)

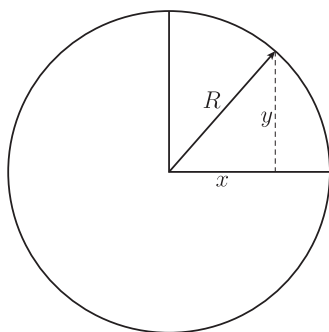
Концепция симметрии проста, элегантна и интуитивно понятна. Более того, далее в этой книге мы увидим, что симметрия в любой теории — это не просто забавное внешнее оформление, но значимое свойство, которое указывает на глубокий основополагающий физический принцип, действующий во Вселенной.

Но что мы имеем в виду, когда говорим, что некое уравнение симметрично?

Объект симметричен, если после перестановки частей он останется прежним, или инвариантным. Например, сфера симметрична, поскольку не меняется при вращении. Но как можно выразить это математически?

Представьте, как Земля обращается вокруг Солнца (см. рис. 2). Обозначим радиус орбиты Земли R ; эта величина не меняется при движении Земли по орбите (на самом деле орбита Земли имеет эллиптическую форму, так что R слегка меняется, но в данном примере это неважно). Координаты Земли на орбите обозначаются как X и Y . При движении Земли X и Y непрерывно меняются, но R остается инвариантным, то есть постоянным.

Уравнения Ньютона² сохраняют эту симметрию, то есть при движении Земли по орбите притяжение, существующее между Землей и Солнцем, остается неизменным. При смене системы отсчета законы оста-



$$R^2 = x^2 + y^2$$

Рис. 2. Когда Земля обращается вокруг Солнца, радиус ее орбиты R остается постоянным. При движении Земли по орбите ее координаты X и Y непрерывно меняются, но R является инвариантным. Мы знаем, что, согласно теореме Пифагора, $X^2 + Y^2 = R^2$. Так что уравнение Ньютона обладает симметрией в любом случае: и когда оно выражено через R (поскольку R — инвариантная величина), и когда оно выражено через X и Y (согласно теореме Пифагора)

ются прежними. С какой бы стороны и под каким бы углом мы ни рассматривали задачу, правила будут неизменными и мы получим одни и те же результаты.

Когда мы перейдем к обсуждению единой теории поля, концепция симметрии будет встречаться нам постоянно. Мы увидим, что симметрия — один из мощнейших инструментов объединения всех взаимодействий в природе.

Подтверждение законов Ньютона

За прошедшие столетия было найдено немало подтверждений законов Ньютона, и они оказали громадное влияние как на науку, так и на общество. В XIX веке астрономы заметили в небесах странную аномалию. Положение планеты Уран заметно отклонялось от предсказаний, сделанных на основании законов Ньютона. Ее орбита была не идеальным эллипсом, а слегка искажалась. Получалось, что либо законы Ньютона здесь не работают, либо существует еще одна планета, пока не открытая учеными, которая своим притяжением видоизменяет орбиту Урана. Вера в законы Ньютона была столь велика, что физики, в том числе и Урбен Леверье, занялись вычислением предполагаемого положения загадочной планеты. В 1846 г. астрономы с первой попытки обнаружили ее в предсказанной точке с отклонением в пределах одного градуса и окрестили Нептуном. Это стало наглядным примером работы законов Ньютона и первым случаем в истории, когда чистая математика позволила предсказать существование крупного небесного тела.

Как уже говорилось, всякий раз, когда ученым удавалось расшифровать принципы действия одной из четырех главных сил Вселенной, это приводило не только к разгадыванию тайн природы, но и к революционным сдвигам в обществе. Законы Ньютона дали ключ к пониманию загадок планет и комет, а также заложили основу механики, которая позволяет нам сегодня создавать небоскребы, двигатели, реактивные самолеты, поезда, мосты, подводные лодки и ракеты. Так, в XIX веке физики применили законы Ньютона к объяснению природы теплоты. В то время ученые полагали, что теплота представляет собой некую форму жидкости, которая растекается по веществу. Но исследования показали, что на самом деле теплота — это движение молекул, напоминающих постоянно соударяющиеся крохотные стальные шарики. Законы Ньютона позволили точно рассчитать, как именно два таких стальных шарика отскакивают друг от друга. Затем, просуммировав триллионы и триллионы молекул, можно вычислить точные параметры теплоты. (Например, когда газ в камере нагревается, он расширяется в соответствии с законами Ньютона, поскольку тепло увеличивает скорость молекул.)

Уже в те времена инженеры смогли воспользоваться этими расчетами, чтобы усовершенствовать паровую машину. Они вычислили, сколько угля потребуется, чтобы превратить воду в пар, который затем будет приводить в движение шестерни, поршни, колеса и рычаги силовых агрегатов. С появлением в XIX веке паровой машины в распоряжении отдельно взятого работника оказались сотни лошадиных сил, а стальные рельсы соединили отдаленные

уголки мира, безмерно увеличив потоки товаров, знаний и людей.

До промышленной революции товары производились небольшими закрытыми гильдиями ремесленников, которым приходилось затрачивать немало труда на создание даже простейших бытовых предметов. Кроме того, гильдии ревностно охраняли секреты своего мастерства. В результате товары зачастую оказывались дефицитными и дорогими. С появлением паровой машины и мощных станков стало возможным штамповать товары за крохотную долю прежней цены, что резко повысило совокупное богатство стран и подняло наш уровень жизни.

Преподавая законы Ньютона студентам технических специальностей, я всегда стараюсь подчеркнуть, что это не просто сухие и скучные уравнения, а что они изменили ход развития современной цивилизации, позволили создать то богатство и процветание, которые мы видим вокруг. Иногда мы даже демонстрируем студентам катастрофическое разрушение Такомского моста в штате Вашингтон в 1940 г., снятое на пленку, как поразительный пример того, что случается при неверном применении законов Ньютона.

Законы Ньютона, основанные на объединении физики небес с физикой Земли, помогли начать первую великую технологическую революцию.

Загадка электричества и магнетизма

Потребовалось еще 200 лет для того, чтобы произошел следующий крупный прорыв, ставший результатом изучения электричества и магнетизма.

Древние знали, что с магнетизмом можно совладать; изобретенный китайцами компас поставил магнетизм на службу людям и приблизил начало эпохи географических открытий. Но электричество вызывало страх. Считалось, что молнии — это проявления гнева богов.

Человеком, заложившим основы этой области знания, стал Майкл Фарадей — бедный, но изобретательный молодой человек, не имевший формального образования. Еще ребенком ему удалось получить место разнорабочего в лондонском Королевском институте. Обычный человек такого же низкого, как у него, социального положения так и мел бы полы, мыл бутылки и всю жизнь держался в тени. Но этот юноша был настолько неугомонным и любопытным, что начальство разрешило ему проводить эксперименты.

Они позволили Фарадею сделать ряд величайших открытий в области электричества и магнетизма. Он показал, что если взять магнит и перемещать его внутри проволочной петли, то в проволоке возникает электричество. Это было поразительное и важное наблюдение, поскольку взаимосвязь электричества и магнетизма тогда была совершенно неизвестна. Можно показать и обратное: что движущееся электрическое поле порождает магнитное поле.

Фарадей постепенно пришел к мысли, что на самом деле эти явления — две стороны одной медали. Это простое наблюдение дало начало веку электричества с гигантскими гидроэлектростанциями, которые освещают целые города. (В гидроэлектростанциях вода вращает турбину, связанную с магнитом, кото-

рый вызывает направленное движение электронов в проводах, то есть создает ток, поступающий в ваши розетки. Обратный эффект — превращение электрических полей в магнитные — обеспечивает, например, работу пылесоса. Электричество из розетки заставляет магнит вращаться, а он приводит в движение вакуум-насос, создающий всасывающую силу.)

Но Фарадей, не имея формального образования, не владел математическим аппаратом, который позволил бы ему корректно описать его замечательные открытия. Вместо этого он заполнял записные книжки странными изображениями силовых линий, напоминающими картину, которую образуют железные опилки под действием магнита. Кроме того, он придумал концепцию поля — одну из важнейших концепций физики. Поле состоит из силовых линий, заполняющих пространство. Магнитные линии окружают каждый магнит, а магнитное поле Земли исходит из северного магнитного полюса, распространяется в пространстве, а затем возвращается к южному магнитному полюсу. Даже на теорию всемирного тяготения Ньютона можно смотреть с позиции поля: Земля обращается вокруг Солнца, потому что она находится в его гравитационном поле.

Открытие Фарадея помогло объяснить происхождение магнитного поля, окружающего Землю. Поскольку Земля вращается, электрические заряды внутри нее тоже вращаются. Именно это постоянное движение внутри Земли порождает ее магнитное поле*. (Но все это оставляет открытым другой вопрос:

* Реальная ситуация несколько сложнее. — *Прим. науч. ред.*

откуда берется магнитное поле стержневого магнита, ведь в нем ничто не движется и не вращается? Мы вернемся к этой загадке позже.) Сегодня все известные природные взаимодействия Вселенной описываются на языке полей, впервые введенном Фарадеем.

Принимая во внимание громадный вклад Фарадея в зарождение электрической эры, физик Эрнест Резерфорд объявил его «величайшим ученым-экспериментатором всех времен».

Фарадей был необычен, по крайней мере для своего времени, еще и тем, что обожал привлекать к своим опытам публику и даже детей. Он был известен своими Рождественскими лекциями в лондонском Королевском институте, где все желающие могли посмотреть на демонстрацию электрического волшебства. Он входил в большую комнату, стены которой были покрыты металлической фольгой (сегодня ее называют клеткой Фарадея), а затем заряжал фольгу. Хотя металл был очевидно заряжен, сам исследователь находился в полной безопасности, поскольку электрическое поле существовало только снаружи комнаты, а внутри нее было нулевым. Сегодня этот эффект широко используется для защиты микроволновых печей и чувствительного оборудования от случайных электрических полей, а также для защиты самолетов, в которые часто ударяют молнии. (На съемках программы для Science Channel, которую я когда-то вел, я зашел в клетку Фарадея в Бостонском музее науки. Сильнейшие электрические разряды, до двух миллионов вольт, обрушивались на клетку и наполняли аудиторию громким треском. Но я ничего не чувствовал.)

Уравнения Максвелла

Ньютон показал, что объекты движутся под действием сил, которые можно описать при помощи дифференциального и интегрального исчисления. Фарадей показал, что электричество возникает под действием поля. Но для исследования полей требовался новый раздел математики, векторное исчисление, которым воспользовался Джеймс Клерк Максвелл. Можно сказать, что если Кеплер и Галилей заложили основы Ньютоновой физики, то Фарадей открыл путь для уравнений Максвелла.

Максвелл — виртуоз математики, совершивший поразительный прорыв в физике. Он понял, что поведение электричества и магнетизма, каким его описывал Фарадей и другие, можно обобщить и описать точным математическим языком. Один из законов гласил, что движущееся магнитное поле способно порождать электрическое поле. Другой закон утверждал обратное: что движущееся электрическое поле способно порождать магнитное поле.

Максвелла осенила гениальная идея. Что, если переменное электрическое поле создает магнитное поле, которое, в свою очередь, порождает другое электрическое поле, которое затем порождает другое магнитное поле и так далее? Блестящее озарение подсказало ему, что конечным продуктом этого стремительного перехода туда-сюда должна быть бегущая волна, в которой электрическое и магнитное поля непрерывно сменяют друг друга. Эта бесконечная цепь превращений живет собственной жизнью и создает бегущую волну из колеблющихся электрического и магнитного полей.

Воспользовавшись методами векторного исчисления, он рассчитал скорость этой бегущей волны и получил величину 310 740 км/с. Результат потряс его. В пределах ошибки эксперимента полученная скорость оказалась поразительно близкой к скорости света (которая, как известно на сегодняшний день, составляет 299 792 км/с). После этого он сделал еще один дерзкий шаг и заявил, что это *и есть* свет! Свет — это электромагнитная волна.

Максвелл написал пророчески: «Мы практически не можем не прийти к выводу, что свет заключается в поперечных колебаниях той же среды, которая является источником электрических и магнитных явлений»³.

Сегодня любому студенту-физику и инженеру-электрику приходится заучивать наизусть уравнения Максвелла. Именно они лежат в основе телевидения, лазеров, электромоторов, генераторов и т. п.

Фарадей и Максвелл объединили электричество и магнетизм. И ключом к объединению стала симметрия. В уравнениях Максвелла есть симметрия, которую называют дуальностью. Если электрическое поле светового луча обозначить E , а магнитное — B , то при замене E на B или наоборот уравнения для электричества и магнетизма не изменятся. Дуальность подразумевает, что электричество и магнетизм представляют собой два проявления одной и той же силы. Симметрия E и B позволяет объединить электричество и магнетизм, и это — одно из величайших прорывных открытий XIX века⁴.

Физики были околдованы этим открытием. Всякому, кто сможет воспроизвести волны Максвелла

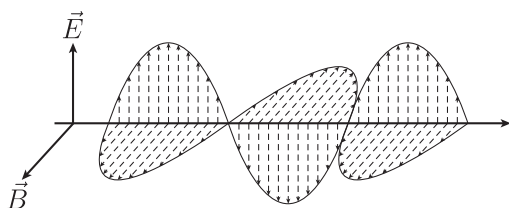


Рис. 3. Электрическое и магнитное поля — две стороны одной медали. Переменные электрическое и магнитное поля превращаются одно в другое и движутся подобно волне. Свет — одно из проявлений электромагнитной волны

в лаборатории, была обещана Берлинская премия. В 1886 г. этот исторический эксперимент провел физик Генрих Герц.

Для начала Герц сгенерировал в одном из углов своей лаборатории электрическую искру. В нескольких футах от нее была установлена проволоочная рамка. Герц показал, что проскакивание искры может привести к появлению в рамке электрического тока, и доказал таким образом, что новая загадочная волна распространяется в пространстве без проводов. Это стало предвестником открытия явления нового типа, получившего название радио. В 1894 г. Гульельмо Маркони представил новую форму связи публично*. Он показал, что можно передавать со-

* В России изобретателем радио считается Александр Степанович Попов, русский физик и электротехник. Попов и Маркони обнаружили возможность беспроводной передачи сигнала независимо друг от друга примерно в одно и то же время, однако Маркони первым получил патент на свое изобретение и коммерциализировал его. — *Прим. ред.*

общения без проводов через Атлантический океан со скоростью света.

С появлением радио человек получил сверхбыстрый и удобный беспроводной способ дальней связи. Исторически отсутствие быстрой и надежной системы связи было одним из серьезных препятствий для прогресса. (В 490 г. до н. э. после битвы между греками и персами при Марафоне гонцу было приказано как можно быстрее доставить новость о победе греков. Он доблестно пробежал 42 км до Афин, да еще после того, как пробежал 230 км до Спарты, а потом, согласно легенде, упал замертво от усталости. Его подвиг в те времена, когда не было средств телекоммуникации, сегодня отмечается марафонскими состязаниями.)

Сегодня нам кажется совершенно естественным, что можно без всяких усилий пересылать сообщения и информацию в любой конец света, пользуясь возможностью преобразовывать энергию множеством разных способов. Например, когда разговариваешь по сотовому телефону, энергия звука преобразуется в механические колебания мембраны. Мембрана связана с магнитом, создающим электрические импульсы, которые можно передать в компьютер. Затем эти электрические импульсы преобразуются в электромагнитные волны, которые ловит ближайшая микроволновая вышка. Там сообщение усиливается и посылается на другой конец света.

Но уравнения Максвелла не только дали нам доступ к почти мгновенной связи через радио, сотовые телефоны и оптоволоконные кабели. Они открыли для нас весь электромагнитный спектр, в котором

видимый свет и радио — всего лишь два диапазона. В 1660-е гг. Ньютон показал, что белый свет, если пропустить его через призму, можно разложить на все цвета радуги. В 1800 г. Уильям Гершель задал себе простой вопрос: что лежит за краями радуги, цвета в которой меняются от красного до фиолетового? Он взял призму, при помощи которой получал радугу в своей лаборатории, и поместил термометр за красным цветом, где никакого цвета вообще не было видно. К его немалому удивлению, температура в этом пустом вроде бы месте начала расти. Иными словами, за красным следовал еще какой-то «цвет», который был невидим невооруженному глазу, но нес энергию. Он получил название инфракрасного света.

Сегодня мы знаем, что существует целый спектр электромагнитного излучения, большая часть которого невидима и для каждой области которого характерна конкретная длина волны. Теле- и радиоволны, например, длиннее волн видимого света. Длины волн цветов радуги, в свою очередь, больше, чем длины волн ультрафиолетовой области излучения и рентгеновских лучей.

Это, помимо всего прочего, означало, что реальность, которую мы видим вокруг, представляет собой лишь крохотный кусочек полного электромагнитного спектра, мельчайший элемент гораздо более масштабной вселенной электромагнитных оттенков. Некоторые живые существа видят больше, чем мы. Например, пчелы способны воспринимать ультрафиолетовое излучение, невидимое для нас, но важное для пчел, поскольку оно помогает находить солнце и ориентироваться по нему даже в па-

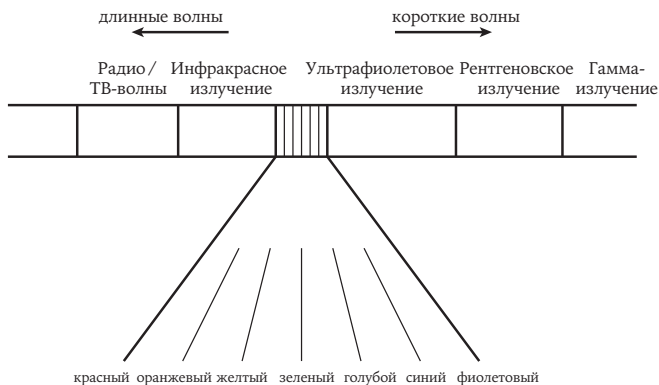


Рис. 4. Бóльшая часть электромагнитного спектра, простирающегося от радио- до гамма-излучения, невидима для наших глаз. Из-за размера клеток в сетчатке наши глаза способны различать лишь крохотную часть электромагнитного спектра

смурный день. А поскольку цветы в процессе эволюции обрели свои великолепные цвета, чтобы привлекать необходимых для опыления насекомых, например пчел, это означает, что они зачастую выглядят еще более привлекательно, если рассматривать их в ультрафиолетовом диапазоне.

Когда я еще ребенком читал об этом, мне всегда было интересно, почему мы видим лишь крохотный кусочек электромагнитного спектра. Какая жалость, думал я. Но причина, я теперь понимаю, состоит в том, что длина электромагнитной волны примерно соответствует размеру излучающей эту волну антенны. Размер вашего сотового телефона составляет всего лишь несколько дюймов потому, что размер его антенны должен примерно соответствовать длине передаваемых и принимаемых элек-