

# НАУКА ВЕЛИЧАЙШИЕ ТЕОРИИ

## ЭЙНШТЕЙН

1

### теория относительности



Пространство —  
это вопрос времени

DeAGOSTINI

# ЭЙНШТЕЙН

Теория относительности



# ЭЙНШТЕЙН

Теория относительности

---

**Пространство —  
это вопрос  
времени**

**Наука. Величайшие теории:** выпуск 1: Пространство — это вопрос времени. Эйнштейн. Теория относительности. / Пер. с исп. — М.: Де Агостини, 2015. — 176 с.

Альберт Эйнштейн — один из самых известных людей прошлого века. Отгремело эхо той бурной эпохи, в которую ученому выпало жить и творить, эхо мировых войн и ядерных атак, но его гениальные открытия и сегодня не потеряли остроты: закон взаимосвязи массы и энергии, выраженный знаменитой формулой  $E = mc^2$ , поистине пионерская квантовая теория и особенно теория относительности, навсегда изменившая наши, до того столь прочные, представления о времени и пространстве.

ISSN 2409-0069

© David Blanco Laserna, 2012 (текст)

© RBA Coleccionables S.A., 2012

© ООО «Де Агостини», 2014–2015

Иллюстрации предоставлены:

Age Fotostock, Album, Archivo RBA, Cordon Press, Corbis,  
M. Faraday Electricity, The Illustrated London News, Time.

Все права защищены.

Полное или частичное воспроизведение  
без разрешения издателя запрещено.

# Содержание

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	<b>7</b>
<b>ГЛАВА 1.</b> Электромагнитная революция .....	<b>15</b>
<b>ГЛАВА 2.</b> Всякое движение относительно .....	<b>39</b>
<b>ГЛАВА 3.</b> Складки пространственно-временного континуума ...	<b>85</b>
<b>ГЛАВА 4.</b> Мировые шкалы отсчета .....	<b>123</b>
<b>ГЛАВА 5.</b> Внутреннее изгнание .....	<b>155</b>
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>171</b>
<b>УКАЗАТЕЛЬ</b> .....	<b>173</b>



## Введение

Эйнштейн жил в эпоху революций. В XIX веке реклама завоевала прессу, в 1920-х годах она утвердилась на радио, а через пару десятилетий пришла на телевидение. Человек впервые оказался перед лицом информационной стихии и встретил во весь рост ее мощную ударную волну. В коллективной памяти навеки запечатлены фигуры людей, поднятых в тот исторический момент на гребень славы: Чарли Чаплин, Мэрилин Монро, Элвис Пресли, Альберт Эйнштейн...

Можно сказать, что к концу своей жизни Эйнштейн был причислен к лику светских святых. После двух мировых конфликтов, узаконивших химическое оружие и ядерные атаки, преклонение перед научным прогрессом граничило с ужасом. Фигура рассеянного мудреца с взлохмаченными волосами, ратовавшего за разоружение и проповедовавшего интеллектуальное смирение перед силами природы, стала для всего разочарованного поколения символом последней возможности воскресить веру в гуманизм науки. В момент, когда Эйнштейн достиг зенита своей славы, ему было 72 года. К тому времени остыли многие из его страстей, кроме одной — мечты примирить квантовую механику с теорией относительности. В 1980 году был открыт доступ к его частной переписке, и почитатели ученого смогли узнать своего кумира как обычного человека. Для некоторых стало настоящим открытием, что он не надевал носков,



курил трубку, играл на скрипке и имел ряд других не связанных с наукой занятий и интересов.

В памяти многих Эйнштейн остался образцовым гражданином и пацифистом, противником Первой мировой войны, нацизма и маккартизма, однако его личную жизнь нельзя было назвать столь же образцовой.

Журнал Time назвал Эйнштейна человеком столетия, и снять его с этого пьедестала вряд ли возможно. Это место принадлежит ученому совершенно заслуженно — как личности, которая воплощает для нас целый век. Для нас Эйнштейн — это обе мировые войны, это ядерный гриб Хиросимы, это преследование и истребление евреев, это неумолимый рост научного знания и его влияния на общество, это сионизм, паранойя сенатора Маккарти, коллекция афоризмов, формула  $E = mc^2$ , мечта о мире во всем мире...

Эйнштейн попытался сохранить свое личное пространство, написав автобиографию, которая содержала меньше биографических фактов, чем любое другое жизнеописание, когда-либо существовавшее в истории. На первых же страницах он поместил программное заявление, которое цитировалось потом несметное количество раз: «Главное в жизни человека моего склада заключается в том, что он думает и как думает, а не в том, что он делает или испытывает». И все же маловероятно, что это предупреждение может остановить человеческое любопытство. Мы попытаемся проследить связь между жизненными перипетиями, через которые прошел ученый, и его поразительными научными озарениями. Возможно, если бы Эйнштейн сразу добился академической должности вместо того, чтобы по восемь часов в день работать в швейцарском патентном бюро, он бы пришел к тем же результатам. Но сама по себе реконструкция обстоятельств, в которых на самом деле работал ученый, крайне увлекательное занятие, наводящее на определенные размышления.

С самого рождения Эйнштейн находился рядом с последними достижениями технического прогресса, от электрических лампочек до различных приспособлений, которые использовал

на своей фабрике его отец. Иллюстрируя теорию относительности, ученый постоянно приводит примеры, отсылающие нас к железной дороге и часовой механике. В годы детства и юности Эйнштейна железная дорога стала новым транспортным средством. Скорость, которую развивали поезда, для того времени была неслыханной. В Берне Эйнштейн наблюдал, как синхронизация часов между городами разжигала и без того горячую страсть швейцарцев к пунктуальности. Может быть, именно эти обстоятельства подтолкнули его воображение и способствовали возникновению теории, которая объединяла время, невероятные скорости и постоянное изменение системы отсчета. Позже секреты силы тяготения были приоткрыты с помощью еще одного изобретения, которое во времена Эйнштейна находилось на вершине технического прогресса: «Что мне необходимо знать точно, — восклицал физик, — так это то, что происходит с пассажирами лифта, который падает в пустоту!»

В своих первых статьях ученый продемонстрировал безупречное владение статистической механикой и исчерпал все возможности традиционной молекулярно-кинетической теории. Его работы объясняли движение частиц пыли в луче света, синий цвет неба и дрожание цветочной пыльцы в стакане с водой. Кроме того, он дал объяснение и феномену фотоэффекта, занимавшему умы многих экспериментальных физиков. Однако главное ждало его впереди. Публикацией в 1905 году труда по специальной теории относительности открывается настоящая эпоха Эйнштейна с ее главным наследием — новым способом мыслить, который стал откровением и вдохновением для следующего поколения физиков. Сам ученый описывал этот переход так: «Новая теория необходима, когда, во-первых, мы сталкиваемся с новыми явлениями, которые старые теории объяснить не могут. Но эта причина, скажем так, банальна, навязана извне. Есть и другая причина, не менее важная. Заключается она в стремлении к простоте и унификации предпосылок теории в ее собственных рамках». Следуя по стопам Евклида, который вывел всю известную нам геометрию из при-

горшни аксиом, Эйнштейн расширил сферу приложения своих теорий на всю физику. Собственно говоря, общая теория относительности, сформулированная в 1915 году, заложила основы современной астрономии. Исходя из простых гипотез, как, к примеру, постоянная величина скорости света или допущение, что все законы физики одинаково применимы ко всем наблюдателям независимо от их движения относительно друг друга, Эйнштейн навсегда изменил наше понятие о времени, пространстве и гравитации. Его научное воображение сумело добраться до таких пределов, об одной мысли о которых захватывает дух, — от квантовой шкалы ( $10^{-15}$  м) до самой границы видимого космоса ( $10^{26}$  м).

Умение отделять зерна от плевел — особый дар. Эйнштейн с ним родился. Любой, кто хоть раз бился над решением задач по физике, знает, как трудно бывает взлететь над цепочками уравнений — вроде того, как футболист должен видеть не просто надвигающегося на него центрального нападающего, а сразу все поле. Выдающаяся интуиция была характерной чертой Эйнштейна, и именно благодаря ей он мог просчитывать наперед ходы природы, в то время как другие терялись во внешнем хаосе экспериментальных результатов. Если не было иного выхода, он пускал в ход самые изощренные математические инструменты, но все-таки главным его талантом было умение незамедлительно вступать в глубинный диалог с реальностью, откуда он выносил что-то вроде прозрений, позже находивших выражение с помощью языка логики.

Зернами, из которых проросли две великие теории ученого, общая и специальная теории относительности, стали два мысленных образа, пришедших к нему в моменты озарения. Первым был образ его самого, преследующего в темноте солнечный луч и одновременно задающегося вопросом: а что случится, когда я его догоню? Вторым образом был человек, падающий в пропасть и по мере своего падения теряющий ощущение собственного веса. Есть мнение, что самый амбициозный проект великого физика — построение окончательной теории, суммы предпосылок, из которой можно было бы вывести все законы физики, — потерпел неудачу именно потому, что для

него не нашлось никакого интуитивного образа, способного послужить путеводной звездой.

Modus operandi (образ действия) Эйнштейна способствовал тому, что его фигура стала полемической: часто догадки ученого на целые десятилетия опережали их экспериментальные доказательства, но после обнаружения решения само противоречие превращалось в лучшее подтверждение его правоты. Обнародованное в 1919 году известие о том, что траектория лучей света звезд искривляется вблизи от Солнца, в мгновение ока вознесло физика к вершинам славы.

Англичанин Чарльз П. Сноу писал: «Самая большая похвала ученому прозвучала из уст Дирака, вообще мало склонного к произнесению панегириков. Он сказал, что если бы Эйнштейн не сформулировал в 1905 году специальную теорию относительности, ее бы сформулировали другие, и совсем скоро — не дольше чем через пять лет [...]. Но общая теория относительности представляла бы собой нечто совершенно иное. Вполне возможно, что если бы не Эйнштейн, мы до сих пор не имели бы о ней ни малейшего понятия».

Можно попытаться представить себе всю громаду его дарования, если сравнить два революционных свершения XX века в области физики. Квантовая механика — достижение целой плеяды великолепных ученых, в число которых входили Планк, Шрёдингер, Гейзенберг, Борн, Дирак, Бор, Паули, Фейнман и сам Эйнштейн. Создание общей теории относительности — плод работы одного человека. И плод этот таков, что одной из главных проблем современной физики является задача согласования новой геометрии, характеризующей теорию тяготения Эйнштейна, с новейшими квантовыми теориями. Стивен Вайнберг, нобелевский лауреат 1979 года, поделился своими размышлениями по поводу задачи: «Много было сделано [...] на пути создания единой концепции тех сил и законов, что действуют в мире элементарных частиц [...], но сила тяготения осталась за бортом. Этот последний шаг — включить в рамки теории гравитацию — невероятно сложен».

Теория относительности и квантовая механика навсегда изгнали из научного обихода те объяснения мира, которые

основывались на здравом смысле и идеях, вытекавших из повседневных наблюдений, — одновременности, положении в пространстве или скорости. Квантовая механика, вероятно, изначально была слишком специфичной, поэтому не сумела завоевать признания масс. Теория же относительности открывала дверь в космос, рассказывала о пространстве и времени, о телах, сжимающихся при движении, и о часах, стрелки которых замедлялись. Она описывала мир, достаточно необычный и потому увлекательный, и задействовала привычные понятия, которые не могли отпугнуть неопита. Если Ньютон превратил окружающий нас мир в часовой механизм, которым можно было управлять по желанию и в соответствии с нуждами промышленной революции, то Эйнштейн сделал реальность тем местом, где возможно мечтать о невозможном. И независимо от того, насколько были поняты его идеи, их эхо слышится повсюду в пространстве нашей культуры.

Труды Эйнштейна положили начало изучению таких неслыханных явлений, как путешествия во времени, черные дыры, гравитационные линзы, расширение Вселенной, бомбы, способные уничтожить целый мир... Эта книга посвящена самым главным открытиям ученого — теории относительности и квантовой физике, но иногда речь будет идти и о других его работах, которые даже сами по себе могли бы обеспечить своему создателю почетное место в истории науки.

Об Эйнштейне написано столько, что для этого не хватит всех полок Вавилонской библиотеки, но есть по крайней мере одна причина, по которой мы считаем себя вправе продолжить разговор о нем, — его собственные детища, поджидающие нас на каждом шагу. Самые разные технологические игрушки — GPS, солнечные батареи или проигрыватели DVD — более или менее прямые наследники теорий Эйнштейна. Ни одно десятилетие не проходит без того, чтобы не подтвердился очередной его прогноз, не нашлось бы новое приложение его идеям или не совершился бы новый прорыв в исследовании квантовой теории гравитации.



- 1879** 14 марта В немецком городе Ульме в чете Германа и Паулины (урожденной Кох) Эйнштейнов появляется первенец, Альберт.
- 1896** Поступает в Высшее техническое училище (Политехникум) в Цюрихе, где знакомится со своей будущей женой, Милевой Марич.
- 1901** Получает швейцарское гражданство.
- 1902** У Милевы и Альберта рождается их первый ребенок, дочь Лизерль. Эйнштейн начинает работу в бернском патентном бюро.
- 1903** Сочетается браком с Милевой Марич. У супругов рождаются еще двое детей — сыновья Ганс Альберт и Эдурд.
- 1905** Публикует ряд статей о броуновском движении, корпускулярной природе света, связи массы и энергии (здесь как раз и появляется знаменитая формула  $E = mc^2$ ) и об электродинамических свойствах движущихся тел. Из последней работы позже вырастет специальная теория относительности.
- 1912** Становится профессором цюрихского Политехникума. Начинается его роман с кузиной Эльзой Лёвенталь.
- 1914** Альберт и Милева расстаются.
- 1915** Выступает в берлинской Прусской академии наук с докладом, в котором озвучивает окончательные уравнения общей теории относительности.
- 1919** Астроном Артур Эддингтон подтверждает прогноз теории относительности об эффекте воздействия гравитационного поля на лучи света. К Эйнштейну приходит слава.
- 1922** Получает Нобелевскую премию по физике, но не за теорию относительности, а за объяснение фотоэффекта.
- 1933** Находясь за границей, наблюдает восхождение Гитлера к власти и решает оборвать все связи с немецкими научными институтами. К концу года окончательно переезжает в Соединенные Штаты. Работает в Институте перспективных исследований в Принстоне, где в тот же период времени трудятся другие великие ученые, Курт Гёдель и Джон фон Нейман.
- 1939** Пишет письмо американскому президенту Франклину Д. Рузвельту, в котором предупреждает его о разрушительной мощи атомной бомбы.
- 1952** Отказывается от предложенного поста президента Израиля.
- 1955** 18 апреля умирает в Принстоне в возрасте 76 лет от аневризмы аорты.



# Электромагнитная революция

В конце XIX века весь мир был очарован мощностью электричества. И в то же время ученые изо всех сил бились над тем, как вписать связанные с ним открытия в рамки ньютоновской физики. Вопрос, который помог получить необходимые ответы, пришел в голову шестнадцатилетнему Эйнштейну: как будет выглядеть луч света, если его догнать?



Согласно семейному преданию, отец Альберта, Герман Эйнштейн, с детства имел большую склонность к математике, но не смог получить университетское образование из-за бедности. Он занялся коммерцией и жил практически на чемоданах, готовый в любой момент мчаться в другой город, чтобы основать там новую компанию. Увы, несмотря на столь бурную деятельность, бухгалтерский баланс Германа чаще бывал отрицательным. Ничего удивительного: присущие ему созерцательность, привычка скрупулезно анализировать все варианты, неспешность при принятии решений, а также вера в человеческую порядочность были не лучшими активами для того, чтобы достичь успехов на ниве коммерции. Герман некоторое время работал подмастерьем в Штутгарте, потом отправился в Ульм и стал там компаньоном в фирме своего кузена, производившей матрасы. Этот швабский город на берегу Дуная благодаря своему стратегическому расположению имел давние торговые традиции. Именно здесь у Германа и его жены Паулины 14 марта 1879 года родился старший сын, Альберт.

В июне следующего года Герман и его брат Якоб отбыли в Мюнхен, чтобы открыть там небольшую фирму по водо- и газоснабжению. В мае 1885 года был основан электротехнический завод Якоба Эйнштейна и К°. Герман в компании ведал вопросами торговли, а Якоб отвечал за техническую сферу.



И этот поворот в коммерческой судьбе отца и дяди во многом определил жизненный путь юного Альберта.

## **ПЛЕМЯННИК ИЗОБРЕТАТЕЛЯ**

О детстве Эйнштейна известно крайне мало — горстка анекдотов, центральным объектом которых выступает голова ученого и ее содержимое. Эти рассказы предвосхитили гораздо более поздний эпизод, когда доктор Томас Харви, патологоанатом Принстонского госпиталя, в нетерпении поспешил извлечь и исследовать мозг гениального физика через несколько часов после его смерти.

Итак, все началось с того, что Паулина, рассматривая новорожденного, пришла в ужас от увиденного: голова младенца была вытянута и приплюснута. Врачи убеждали ее, что через несколько недель она придет в норму (так и случилось), но члены семьи еще долго опасались за умственное здоровье ребенка. Говорить Альберт начал только в два с лишним года и сразу же обеспокоил домашних своей привычкой повторять все сказанные им слова и фразы, за что одна из нянек ласково называла мальчика Господин Зануда.

Каким-то образом появился миф о том, что Эйнштейн плохо учился в школе, но эту легенду можно считать безосновательной. В одном из писем сестре Фанни Паулина с гордостью пишет: «Вчера Альберту вручили табель — он снова лучший ученик в классе, и характеристику ему дали отличную». Альберту в то время было семь лет. Его успехи в учебе, особенно в физике и математике, сохранялись и в последующие годы, во время учебы в Луитпольдовской гимназии в Мюнхене.

Частенько учителя Эйнштейна давали ему отрицательную характеристику, но причиной этому была вовсе не его плохая успеваемость, а абсолютная несовместимость характера с существовавшей образовательной системой. Конфликты юного Альберта с представителями власти — второй центральный мотив рассказов и анекдотов о его детстве и отрочестве. Если



**ФОТОГРАФИИ ВВЕРХУ:  
родители  
Альберта —  
Герман и Паулина  
Эйнштейны.**

**ФОТОГРАФИЯ ВНИЗУ  
СЛЕВА:  
самая ранняя  
сохранившаяся  
фотокарточка  
Альберта  
Эйнштейна.**

**ФОТОГРАФИЯ ВНИЗУ  
СПРАВА:  
Эйнштейну 14 лет,  
Мюнхен.**



собрать воедино все отрицательные отзывы, данные мальчику его учителями, их бы набралось на целую книгу. Однажды отчаявшийся учитель признался, что был бы гораздо счастливее, если бы Альберт больше не показывался на его занятиях. Тот попытался защититься: «Но я же ничего не сделал!» — на что учитель ответил: «Это правда, но ты сидишь там, на задней парте, с такой улыбкой, что исчезает вся почтительная атмосфера, необходимая для того, чтобы вести урок». Неприязнь была взаимной. Будущий великий ученый не хотел выслуживаться перед теми, кто его муштровал: «Мои школьные учителя казались мне сержантами, а институтские преподаватели — лейтенантами». Это противостояние едва не прервало карьеру Эйнштейна прежде, чем она началась.

Мальчик не смог найти общего языка и с одноклассниками, которые считали его неприязнь к подвижным играм подозрительной, однако дома он всегда находил любовь и защиту. 18 ноября 1881 года родилась единственная сестра Эйнштейна, Мария, которую в семейном кругу стали звать Майей. Вначале Альберт не выказывал сильных эмоций в связи с появлением нового члена семьи (говорят, что первым делом он поинтересовался, нет ли у нее колесиков), но позже именно сестра стала его ближайшим другом. Семьи Германа и Якоба жили вместе в великолепном доме в пригороде Мюнхена, совсем недалеко от фабрики. Перед домом был разбит пышный просторный сад, который дети называли маленьким английским — большой находился в самом Мюнхене. Эйнштейны не слишком тесно общались с соседями и предпочитали устраивать семейные вылазки в горы или к озерам.

В начале пути Эйнштейна в науку находятся два предмета: компас, подаренный Альберту отцом на день рождения в четыре года, и том «Начал» Евклида. Намагниченная стрелка указывала на тайны природы, а аксиомы и постулаты древнего грека — на возможности человеческого разума в разгадке этих тайн. Компас и учебник Евклида предсказали Эйнштейну его научную судьбу: магнетизм можно объяснять как чистый феномен относительности, а саму теорию относительности — как геометрическое видение реальности.

Будучи достаточно скороспелым юношей, я рано понял тщету тех страстей и надежд, которые беспрестанно осаждают большинство людей на протяжении всей их жизни.

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН

Согласно другому мифу, столь утешительному для многих школьников, Эйнштейну не давалась математика. Но на самом деле эта наука стала одним из первых его увлечений. Недаром девиз Ульма, где родился ученый, звучит так: *Ulmenses sunt mathematici* (лат. «Все уроженцы Ульма — математики»). Эйнштейну нравилось предугадывать содержание каждой новой школьной темы, и он изобретал собственные способы объяснения, которые отличались от изложенных в учебниках. Эта детская привычка переросла в независимость мышления — одну из главных особенностей, характеризовавших взрослого Эйнштейна. Усилиться этой черте помогали и шутливые поддразнивания дяди, который, задавая племяннику сложную задачку, любил посомневаться вслух в способности юного Альберта решить ее.

Несмотря на то что проекты Якоба заводили их общее с Германом предприятие все дальше и дальше в тупик, на племянника Якоб оказал превосходное влияние. Так и видится, как мальчик приходит на фабрику и его неугомонный дядя-изобретатель показывает ему, каким образом работает каждая из его машин. Альберт мог играть с гальванометрами и электрохимическими батареями и ставить вместе с дядей бесконечные опыты и эксперименты. Образ Эйнштейна-теоретика невольно заставляет нас думать о нем как о мечтателе, человеке не от мира сего. Одним из самых больших увлечений этого ученого с детских лет были машины. Еще мальчиком он любил игры-конструкторы, обожал копаться в недрах механизмов, а став взрослым, запатентовал ряд изобретений, спроектировал новую модель холодильника и измеритель электрического напряжения, поддерживал оживленную переписку с другими любителями технических поделок.

Эйнштейну было десять лет, когда он познакомился со вторым своим духовным покровителем — Максом Тэлмеем, польским студентом-медиком, который бывал в гостях у Германа и Паулины. Практически каждый четверг в течение пяти лет он появлялся в доме Эйнштейнов к обеду и участвовал в беседах с членами семейства. Несмотря на разницу в возрасте (Макса и Альберта разделяло 12 лет), они сдружились благодаря общим интересам и взаимной симпатии. Тэлмея глубоко поразил особый ум мальчика, и он решил помочь юному другу найти ответы на волновавшие того вопросы. Макс вручил Альберту «Силу и материю» Людвиг Бюхнера, «Космос» Александра фон Гумбольдта и популярную серию трудов по естествознанию авторства Аарона Бернштейна. Альберт проглотил эти книги с той же страстью, с какой другие дети читали Жюль Верна.

Атмосфера того времени способствовала тому, что Эйнштейн беспрепятственно знакомился с последними технологическими достижениями эпохи. Например, в 1861 году Джеймс Клерк Максвелл вывел уравнения электромагнитного поля. А всего в одном квартале от дома Альберта рабочие электротехнического завода Якоба Эйнштейна и К<sup>о</sup> собирали и заряжали бобины, резисторы и конденсаторы. Казалось, сам воздух был пронизан электричеством.

## ВЕК ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

Удивление четырехлетнего Эйнштейна при виде компаса было сродни чувству, которое человек с незапамятных времен испытывал при виде электростатических явлений. Само слово «электричество» происходит от греческого *elektron* — «янтарь»; точная этимология слова «магнетизм» неизвестна, возможно, оно происходит от названия фессалийской области Магнесия. У нас нет точных данных о том, когда именно человек обратил внимание на то, что его волосы становятся дыбом, если потереть о них кусочком ископаемой смолы. Сам компас изобрели



китайцы, скорее всего в эпоху династии Хань, около 200 года до н. э., однако объяснение этот феномен получил только в XVI веке: связь прибора с магнитным полем Земли расшифровал придворный врач Елизаветы I, Уильям Гильберт.

Интерес к явлениям электромагнетизма пережил заметный взлет в эпоху Просвещения, но только в XIX веке началось исследование его внутренних законов. Сделанные открытия запустили промышленность, которая, в свою очередь, повлекла за собой реформу английской системы патентования, рационализацию агрикультуры и изобретение парового двигателя. Технологический переворот XX века в огромной степени обязан своей основной движущей силой — электричеству.

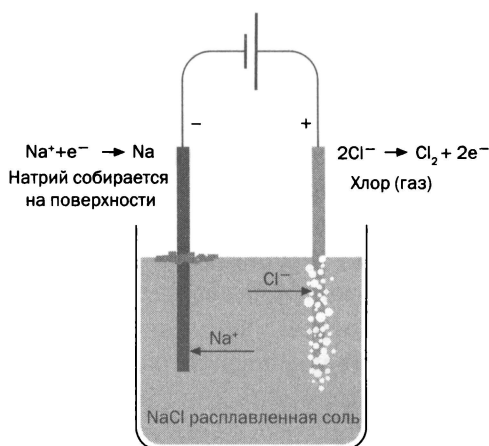
Теоретизировать на сей счет первым начал французский ученый Шарль Огюстен Кулон (1736–1806), сформулировавший закон электростатической силы: сила притяжения или отталкивания электрических зарядов прямо пропорциональна их величинам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. В этой формулировке нельзя не заметить присутствие идей Ньютона. А если опустить эффект отталкивания и заменить заряды на массы, то мы увидим практически закон всемирного тяготения.

В 1800 году, пытаясь воспроизвести способ получения электричества, который используют некоторые рыбы (например, скат), Алессандро Вольта изобрел химическую батарею. Изобретение стало настоящим подарком исследователям: имея под рукой источник постоянного тока, можно было конструировать цепи, а это открывало огромное поле для экспериментов. Приведем лишь один пример: без химической батареи был бы невозможен электролиз — один из главных производственных процессов, во время которого с помощью электрического тока вещества расщепляются на составные части.

Благодаря этому изобретению ученые открыли, что электричество и магнетизм, до тех пор шедшие разными дорогами, имеют тайную связь. В 1820 году датчанин Ханс Кристиан Эрстед (1777–1851) продемонстрировал своим студентам — которые, впрочем, выказывали не слишком много энтузиазма к учению, — что электрический ток заставляет отклоняться стрелку

## ЧТО СОЕДИНИЛО ЭЛЕКТРИЧЕСТВО...

Поскольку вещество, соединяющее между собой атомы, имеет электрическую природу, прохождение сквозь него тока может оказать противоположный эффект и разделить компоненты. На протяжении XVIII и XIX веков были чрезвычайно популярны различные методы разложения материи и попытки идентифицировать ее основные элементы, и электролиз стал мощнейшим из них. Он впервые позволил расщепить вещество до таких элементов, которые до того противились любому чисто химическому воздействию. Процесс заключается в помещении полярных электродов в емкость с веществом, которое необходимо расщепить. Для создания токопроводящей среды вещество растворяется в воде либо расплавляется. Рассмотрим электролиз обыкновенной соли (NaCl). При комнатной температуре отрицательные ионы хлора ( $\text{Cl}^-$ ) и положительные ионы натрия ( $\text{Na}^+$ ) образуют структуру твердого вещества. Сначала необходимо нагреть соль примерно до  $800^\circ\text{C}$ , чтобы она расплавилась, а связи между ионами ослабли. Затем, при наличии достаточного напряжения, отрицательные ионы хлора благодаря притяжению электронов начнут двигаться к положительному электроду. Здесь они превратятся в нейтральные молекулы ядовитого газа — хлора. Положительные ионы натрия соберутся у отрицательного электрода, где получат недостающие электроны, чтобы превратиться в простой натрий ( $2\text{Na}$ ), который всплывет на поверхность. Английский химик Хамфри Дэви (1778–1829) подверг электролизу карбонат калия, карбонат натрия и оксид кальция (негашеную известь), в первый раз выделив в чистом виде натрий, калий (щелочные металлы) и кальций (щелочноземельный металл). Фарадей вывел формулы законов, описывающих процесс электролиза и позволяющих вычислить количество вещества, получаемого или высвобождаемого на каждом из электродов.



компас. Ранее считалось, что таким эффектом обладают только постоянные магниты. В отличие от студентов Эрстеда, ученое сообщество бурно отреагировало на его открытие: с первого момента существования мира сила магнетизма проявляла себя исключительно во взаимодействии между массами, заряженными телами и магнитами.

Результат этого опыта пробудил любопытство в Андре Мари Ампере (1775–1836), который выяснил, что электрические токи также могут взаимодействовать, притягиваться и отталкиваться благодаря силам магнетической природы. Как и Кулон, к своим открытиям Ампер пришел с помощью математических уравнений, в которых связывал величины, доступные для наблюдения в любой лаборатории.

На первый взгляд эти законы не предполагали никаких особо сложных теоретических построений. Ученые-физики, исследуя окружающий их универсум, со временем собрали небольшое количество принципов и идей, которых, казалось, было вполне достаточно для того, чтобы представить полную, точную и логичную картину мира. С одной стороны, существовали точечные частицы, которые взаимодействовали между собой при помощи центральных сил, то есть сил, направленных вдоль прямой линии, соединяющей точечные массы. Такое взаимодействие происходило мгновенно и на расстоянии. С другой стороны, существовали волны, которые распространялись в материальной среде, состоящей из частиц, взаимодействующих между собой.

Как мы видим, ученые, анализируя реальность, опирались на образы, взятые из повседневной жизни: камень, брошенный в пруд (частица), и круги, появляющиеся от него на поверхности (волны). Однако, как бы ни были знакомы человеческому воображению эти волны и частицы, сама идея мгновенного действия на расстоянии была довольно странной. «Вне физики, — говорил Эйнштейн, — наш разум не знает никаких сил, которые оказывали бы действие на расстоянии». Похожую критику уже вызывала ньютоновская формулировка закона тяготения, которая описывала с математической точностью все эффекты, но умалчивала об их причине. Ответ самого Ньютона на подоб-

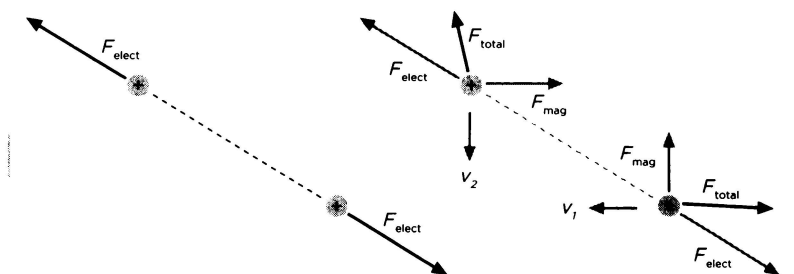
ные упреки известен: «*Hypotheses non fingo*» — «Я не выдумываю гипотез».

Восхищение, которого заслуживал труд Ньютона, не могло заслонить собой некоторую неловкость перед вытекающими из него выводами. Следуя логике рассуждений ученого, оказывается, что мы могли бы отправлять мгновенные послания на другой конец планеты, придав движение некой массе: ее движение изменило бы расстояние между ней и нами, а вместе с этим и силу, действующую на любое тело на Земле. Аппарат с достаточной чувствительностью должен был бы уловить это воздействие, а разные изменения силы можно было бы организовывать по принципу языка Морзе.

## МЕССИЯ И АПОСТОЛ

Теория центральных сил начала давать трещины, когда опыты показали, что электромагнитные взаимодействия зависят не только от расстояния, но также от скорости и ускорения. Если заряды находились в состоянии покоя, классическая схема работала отлично, но как только они начинали двигаться, величины в уравнениях умножались, а вектора силы отклонялись от прямой, соединяющей частицы (см. рисунок).

Вектора сил между двумя зарядами, в статическом положении (слева) и в динамике (справа). В первом случае вектор силы по отношению к каждому из зарядов совпадает с вектором соединяющей их прямой ( $F_{\text{elect}}$ ). Когда заряды приобретают скорость ( $v_1$  и  $v_2$ ), появляется магнитная сила ( $F_{\text{mag}}$ ), перпендикулярная вектору скорости. Равнодействующая сила ( $F_{\text{total}}$ ), действующая на каждый из зарядов, то есть сумма электрической и магнитной сил, не совпадает по своему вектору с прямой линией, соединяющей оба заряда.



Постепенно стало ясно, что существующая система понятий терпит фиаско и не способна описать только что открытые законы. Было необходимо найти новые инструменты. Английский ученый Майкл Фарадей (1791–1867) первым сумел увидеть невероятную экспериментальную картину, созданную Кулоном, Ампером и Эрстедом, с подходящего угла зрения.

Фарадей был выдающимся человеком во многих смыслах. Он вырос в такой бедности, которая не позволяет мечтать ни о каких научных достижениях. Тем не менее, работая переплетчиком, юноша выучился химии и физике — он просто читал все те книги, которые попадали ему в руки.

Сегодня более 99 % электроэнергии в мире производится на атомных, тепловых, водных, ветровых, приливных и других электростанциях. Все они работают на базе генераторов тока, в основе которых лежит электромагнитная индукция — явление, открытое и описанное Фарадеем. 17 октября 1831 года он сделал в своем дневнике запись о том, что если рядом с проводом поместить магнит, то в проводе появится электрический ток. Это открытие замыкало круг, начатый Эрстедом: когда-то в Дании электрический ток заставил двигаться намагниченную стрелку компаса, а теперь в подвале Королевского института Великобритании, где ставил свои опыты Фарадей, движение магнита порождало электрический ток.

Тот же Фарадей подобрал ключ к закрытому замку современной теоретической физики — им стало понятие поля. Его можно ясно себе представить, если посмотреть на рисунок, который образуют железные стружки вокруг полюсов магнита или вблизи электрического тока. Однако этот простой эксперимент влечет целую вереницу вопросов. Какой силе подчиняются металлические стружки? На что ориентированы так называемые силовые линии, по формулировке Фарадея — завихрения вокруг зарядов и полюсов магнита?

Эти нечеткие фигуры навсегда изгнали из научного обихода ньютоновское понятие центральных сил. Эйнштейн пытался восстановить ход мысли Фарадея:

[...] должно быть, благодаря верному инстинкту, он почувствовал, что все объяснения электромагнитных явлений с помощью взаимодействий электрических частиц на расстоянии идут по ложному, искусственному пути. Каким образом разбросанные по листу бумаги железные стружки, каждая из них, узнали о существовании отдельных электрических частиц, блуждающих в находящемся рядом проводнике? Все, казалось, наводило на мысль о том, что совокупность этих частиц и создавала в окружающем пространстве некое состояние, которое, в свою очередь, влияло на порядок расположения стружек. Если понять геометрическую структуру этих пространственных рисунков, которые сегодня называют полями, и законы их взаимного влияния, можно найти ключ к секрету таинственных электромагнитных взаимодействий.

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СИНТЕЗ**

Для того чтобы создать модель поля, нужно определить каждую из точек пространства с помощью математического значения. Если это будут некоторые числовые параметры, то мы будем иметь дело со скалярным полем. К примеру, такое поле описывает распределение температур в твердом теле или карту атмосферного давления. Если, помимо числа, к каждой точке пространства добавить еще и вектор, мы получим векторное поле. Классическими примерами такого поля являются схема распределения скоростей в жидкости или, снова говоря о метеорологии, карта ветров в определенном регионе.

В основе всех этих явлений лежит материальная, механическая структура. Давление, температура, движение жидкости и ветер — макроскопические проявления молекулярных перемещений. Ученые заключили, что в случае с электромагнетизмом должно происходить то же самое. Электрические и маг-

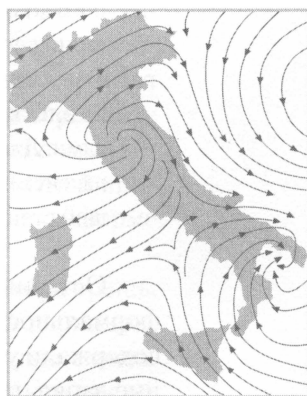
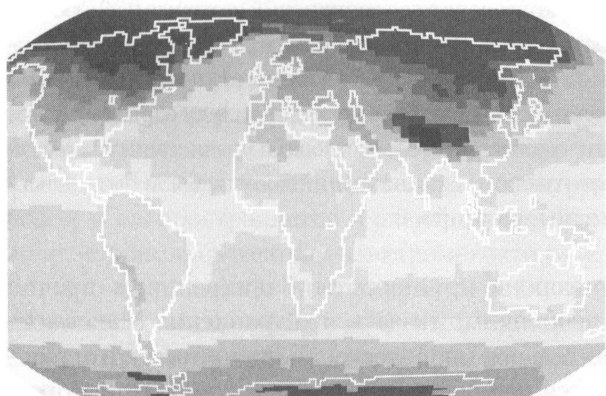
нитные поля обладают характеристиками величины и вектора, указывающего, что произойдет с зарядом, если поместить его в какую-либо точку поля, с какой силой он будет перемещен и куда. Что же это за микроскопическая структура, организующая рисунок силовых линий?

Судя по всему, речь шла о чем-то нематериальном, что пронизывало бы любую среду, было бы невидимым и в чем вплоть до этого момента никто не чувствовал бы необходимости. Исходя из самого определения, звучавшего в высшей степени эфемерно, субстанцию называли эфиром.

Эта невидимая среда удерживала в себе заряды, которые постоянно воздействовали на нее и изменяли ее эластическую структуру самым своим присутствием и движениями. Конфигурация поля в конкретной области предопределяла участь конкретной частицы, но при этом каждая из частиц определяла участь поля, а значит, свою собственную и других частиц. Максвелл вывел точные закономерности этого непрерывающегося диалога между полями и зарядами.

Джеймс Клерк Максвелл родился в Эдинбурге в 1831 году — именно тогда Фарадей пришел к идее силовых линий. Для многих Фарадей, сын кузнеца и крестьянки, был не более чем чудо-ремесленником. Возможно, из-за этого снобизма его теоретические рассуждения никто не принимал всерьез.

Пример скалярного поля: карта распределения температур в атмосфере (слева). Интенсивность цвета в каждой точке определяется числовым значением температуры. Пример векторного поля: распределение ветра над территорией Италии (справа).



Максвелл же отвечал всем общественным требованиям. В его родословной можно было найти представителей аристократии, а сам он учился в университетах Эдинбурга и Кембриджа. В последнем он даже вступил в элитное полутайное общество «Кембриджских апостолов». Впоследствии Максвелл преподавал естественную философию в лондонском Королевском колледже и возглавлял Кавендишскую лабораторию.

Высокое происхождение ученого не помешало ему воспринять идеи Фарадея всерьез. При помощи математически точного рейсфедера Максвелл начертил те линии поля, которые физик-самоучка почувствовал в узорах железных стружек. Прибегнув к помощи частных производных, он вывел законы, управлявшие структурой и эволюцией полей при любом возможном сочетании зарядов, токов и магнитов. Максвелл объяснил все макроскопические электромагнитные явления, объединив в одну систему открытия Ампера, Кулона, Фарадея и Эрстеда. Однако даже самые революционные манифесты пишутся на унаследованном от прошлого языке. Так и Максвелл для того, чтобы вывести уравнения, описывающие поведение электрических и магнитных полей, опирался на «леса» из механических моделей. Приведем слова английского физика Фримена Дайсона:

«Ученые той эпохи, включая Максвелла, пытались представить себе поля в виде механических структур, составленных из огромного количества круговоротов и завихрений, которые распространялись в пространстве. Предполагалось, что эти структуры изображали механическое напряжение, передающееся по электрическому или магнитному полю между зарядами и токами. Для того чтобы поля соответствовали уравнениям Максвелла, система круговоротов и завихрений должна была быть в высшей степени замысловатой».

Оставив в стороне круговороты, завихрения и прочие формальности, необходимо сказать, что уравнения Максвелла содержали удивительное пророчество. Если привести в движение заряд, появится переменное электрическое поле, которое,



в свою очередь, вызывает появление переменного магнитного поля, приводящего к возникновению переменного электрического поля... Открытия Эрстеда и Фарадея связаны между собой: одно неизбежно влечет за собой другое.

Работая с уравнениями, Максвелл пришел к выводу, что распространяющееся движение подчиняется математической модели движения звука или любой другой волны. Ученый смог с точностью вычислить скорость этого движения; она соответствовала частному электромагнитной и электростатической величин заряда и примерно равнялась 300 000 000 м/сек.

Представьте себе, что он почувствовал, когда сформулированные им дифференциальные уравнения показали, что электромагнитные поля распространяются в форме волн и со скоростью света! Мало кому в этом мире повезло испытать подобное.

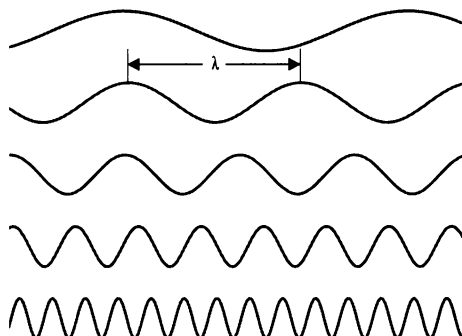
ЭЙНШТЕЙН ОБ ЭМОЦИЯХ МАКСВЕЛЛА, ВЫЗВАННЫХ ОТКРЫТИЕМ

Эта величина была не просто цифрой. В 1849 году француз Ипполит Физо (1819–1896) поймал луч света в ловушку зеркального лабиринта и, вооружившись тонким измерительным механизмом, установил скорость света в воздухе. Согласно его данным, она равнялась 314 858 000 м/сек, но соотечественник Физо, Леон Фуко (1819–1868), уточнил число: 298 000 000 м/сек. Обычно великие ученые делают свои заявления с большой осторожностью, но, видя совпадение подобного масштаба, Максвелл не мог промолчать: «Скорость поля так близка к скорости света, что, мне кажется, есть серьезные причины сделать вывод: сам свет (включая тепловое излучение и другие виды радиации) обладает электромагнитной природой и распространяется в электромагнитном поле в форме волн, подчиняясь законам электромагнетизма».

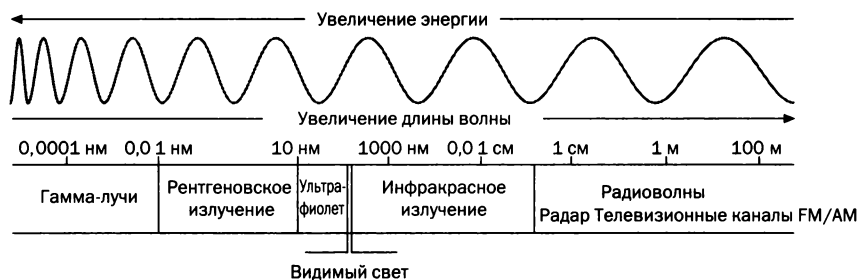
Это открытие пробило в научном объяснении мира брешь, сравнимую по размерам с эффектом от появления дарвиновского «Происхождения видов». Наконец все обрело смысл. Действие на расстоянии уступало место полям, в чьих преде-

## ДЛИНА И ЦВЕТ

Если понимать свет как волну, то скорость его распространения в вакууме не поддается изменениям, в отличие от самой волны, которую можно растянуть или сжать. Таким образом, мы будем менять размер повторяющегося шаблона, который называется длиной волны,  $\lambda$ .



Чем больше  $\lambda$  при постоянной скорости распространения, тем ниже частота  $\nu$ , с которой повторяется шаблон. Поэтому  $\lambda$  и  $\nu$  — величины обратно зависимые; их отношение выражено в формуле  $c = \lambda \cdot \nu$ , где  $\lambda$  измеряется в единицах расстояния, а  $\nu$  — в обратных единицах времени. Если говорить о видимом излучении, то изменение длины волны глаз отмечает как изменение цвета. Если взять фиолетовую волну и начать ее растягивать, то получится синяя, потом зеленая, желтая, оранжевая, красная... и так пока она совсем не исчезнет. То же произойдет и при сжатии. Диапазон волн превышает возможности наших органов зрения и образует два невидимых для нас сектора — инфракрасный и ультрафиолетовый.



лах любое изменение распространяется с конечной скоростью в форме волн. Уравнения Максвелла стали одной из первых попыток унифицировать физическую науку: к электричеству и магнетизму, соединенным благодаря Эрстеду, теперь добавлялся и свет. Сближение было неожиданным: свет считался явлением, далеким от вопросов функционирования батарей, проводов и магнитов.

Прочтя работу Максвелла, немецкий физик Генрих Герц решил начать охоту на ускользающие электромагнитные волны. Герц доказал, что они действительно были светом — но невидимым: человеческое зрение не может воспринять волны этой длины.

Физики и инженеры быстро освоили уравнения Максвелла, и их практическому применению не мешала предполагаемая уравнениями сложнейшая система круговоротов и вихрей. В конце концов эта система отошла в небытие сама по себе, подобно уже не нужным лесам, разобранным по окончании строительства. Эйнштейн, со свойственным ему лаконизмом, объяснил произошедшее так:

«В течение десятилетий большинство ученых-физиков считали, что должна найтись механическая структура, которая сделала бы теорию Максвелла наглядной. Но провал всех усилий привел к тому, что новое понятие поля было признано неразлагаемым. Другими словами, ученые решили смириться с отсутствием механического основания теории полей».

Понятие поля не только отвечало на вопрос, как может одно тело оказывать воздействие на другое: оно просто было удобным и потому широко использовалось. Однако оно вызвало к жизни новую задачу: можно ли переформулировать теорию тяготения, которая до сих пор опиралась на закон мгновенного действия? И чтобы решить эту задачу, Эйнштейну пришлось изобрести теорию нового образца — общую теорию относительности.

## В ГОРЕ И В РАДОСТИ

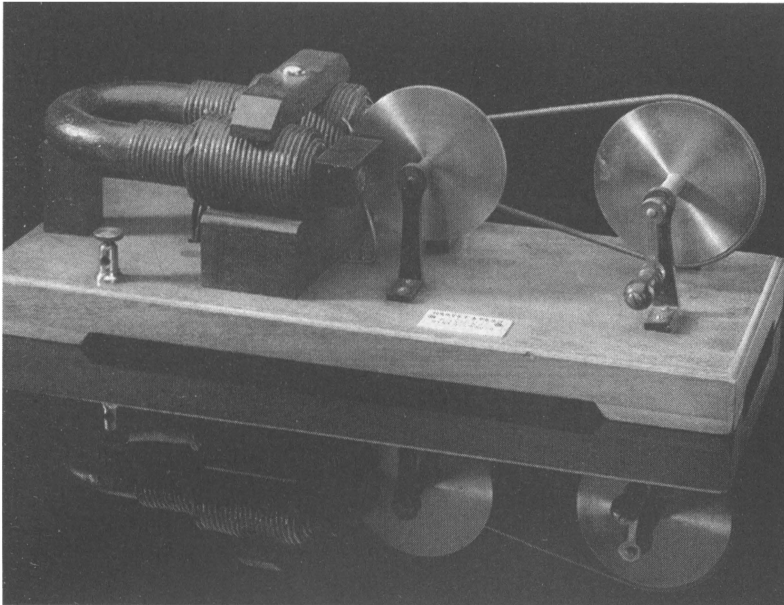
Теоретический авангард науки подготовил почву для позднейших технологических внедрений. За Кулоном, Эрстедом, Ампером, Фарадеем и Максвеллом пришли Маркони, Грэхем Белл, Морзе, Тесла и Эдисон, а также целая толпа коммерсантов, желавших сколотить состояние на научных открытиях. Якоб и Герман Эйнштейны также подошли к электромагнитным полям за своей долей прибыли.

Когда братья открыли в Мюнхене первое дело, все предвещало великолепное будущее. В 1885 году они подписали контракт на обеспечение Октоберфеста (первый раз в истории!) электрическим освещением, в 1891 году приняли участие в международной электротехнической выставке во Франкфурте.

Электротехническая промышленность переживала головокружительный подъем. В десятилетие между 1880 и 1890 годами спрос на новые коммуникации был так велик, что на солидную прибыль могли рассчитывать даже скромные предприниматели. Однако большие немецкие компании постепенно оттеснили семейные предприятия на периферию рынка, а позже изгнали их и оттуда. В 1894 году электротехнический завод Якоба Эйнштейна и К<sup>о</sup> впервые стал банкротом. Итальянский представитель фирмы, Лоренцо Гарроне, предложил перенести дело в Павию. Пока Герман взвешивал за и против в таком важном решении, горящий энтузиазмом Якоб уже взял билеты на поезд, следующий в Италию.

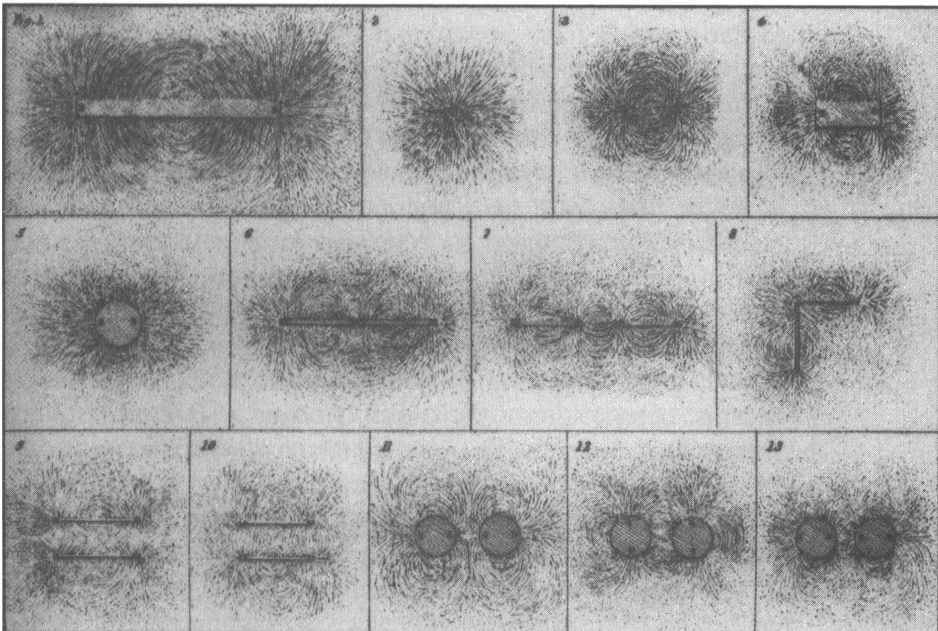
Семьям братьев-предпринимателей не оставалось ничего другого, как последовать за ними. Герману и Паулине пришлось оставить идиллический дом, утопающий среди деревьев, своих друзей, родственников, музыку родного языка — и сына.

Родители считали, что семейные финансовые трудности не должны помешать учебе Альберта, поэтому оставили его в Мюнхене на попечение дальнего родственника. Юноша получал из Милана полные энтузиазма письма, но отвечал на них телеграфически кратко. Его немногословные послания умалчивали о том, что теперь, без отдушины семейного круга, школьная атмосфера стала невыносимой. А вместе с мрачной



НА ФОТОГРАФИИ  
ВВЕРХУ:  
Репродукция первого электромагнитного генератора, изобретенного Фарадеем. Медный диск вращается между полюсами подковообразного магнита, и вращение вызывает появление в диске электрического тока; так механическая энергия превращается в электрическую.

НА ФОТОГРАФИИ  
ВНИЗУ:  
Рисунки Фарадея, иллюстрирующие поведение железных стружек вблизи одного магнита или нескольких.



перспективой военной службы этого было достаточно, чтобы Альберт чувствовал себя на грани отчаяния и с каждым днем унывал все сильнее.

Юный Эйнштейн, который в Германии чувствовал себя, как в тюрьме, решил любым путем сбежать из страны. Он раздобыл медицинское свидетельство, подписанное семейным врачом, о том, что ему рекомендуется немедленно воссоединиться с родителями во избежание нервного расстройства. Справка сработала, и директор гимназии освободил Эйнштейна, не входившего в число его любимцев, от учебных обязанностей. Самое трудное было позади: 29 декабря 1894 года Альберта отделили от Милана только 350 км, которые он решил преодолеть на свой страх и риск. Юноша не собирался возвращаться после новогодних праздников: своим родителям он ясно написал, что больше не сядет за парту Луитпольдовской гимназии.

Это решение поставило под вопрос все будущее Эйнштейна. С одной стороны, с незаконченным средним образованием он не мог рассчитывать на поступление ни в один немецкий вуз. Угроза военной службы делала ситуацию еще более неоднозначной. Любой гражданин Германии, достигший 17 лет и пребывающий вне страны вместо того, чтобы служить на благо отечества, автоматически считался дезертиром.

Проезжая на велосипеде по живописной дороге в Геную и рассматривая Альпы на горизонте, Эйнштейн решил отказаться от немецкого гражданства и начать хлопотать о швейцарском. Отринув идею об участии в семейном предприятии, Альберт собрался поступать в цюрихский Политехникум (Высшее политехническое училище). Этот вариант имел ряд преимуществ: Цюрих не принадлежал Германии, но находился в немецкоязычной зоне Швейцарии, а также славился своим высшим образованием в области физики и математики. Там преподавали такие научные светила эпохи, как Генрих Вебер, Адольф Гурвиц и Герман Минковский.

Большую часть 1895 года Эйнштейн провел между Миланом и Павией, готовясь к вступительным экзаменам в Политехникум. Переживая приступы синдрома Стендаля и все больше влюбляясь в Италию, он появлялся и на фабрике, чтобы помочь

отцу и дяде. Якоб поражался тому, как юноша за четверть часа разрешал проблемы, над которым техники бились целыми днями. Бурные события этого года пробудили в Эйнштейне первый проблеск научного озарения. 50 лет спустя в своих «Автобиографических заметках» он вспоминал об этом так:

«Уже в шестнадцать лет я столкнулся с парадоксом, из которого потом выросла вся теория: если бы я стал двигаться вслед за лучом света со скоростью  $c$  ( $c$  — скорость света в пустоте), то я должен был бы воспринимать такой луч света как покоящееся, переменное в пространстве электромагнитное поле. Но ничего подобного не существует; это видно как на основании опыта, так и из уравнений Максвелла».

Этот парадокс преследовал Альберта в течение десяти лет, пока решение не было найдено. Сам того не подозревая, юноша посеял в своем воображении зерно специальной теории относительности. В летние месяцы Эйнштейн написал первую научную статью под названием «К рассмотрению состояния эфира в магнитном поле», которую потом отослал одному из своих дядюшек, Цезарю Коху.

В октябре Паулина и Альберт отправились на поезде в Цюрих. Неизвестно, дрожала ли рука будущего ученого, когда тот подписывал экзаменационные листки, ведь на кону стояло его будущее. Первая попытка поступления провалилась, но результаты проб по физике и математике впечатлили профессора университета Генриха Вебера, и тот пригласил Альберта на свои занятия в качестве вольнослушателя. Тогда директор Политехникума посоветовал юноше завершить среднее образование в школе города Арау, расположенного в живописной долине между Цюрихом и Базелем. На следующий год, после получения диплома, он мог снова подавать заявление в университет.

Вдали от давящей атмосферы Германской империи характер Эйнштейна изменился. Еще в Италии из характеристик, даваемых ему людьми, начали исчезать слова «замкнутый», «нелюдимый», «необщительный», а вместо них возникает

образ обаятельного юноши с отчасти богемными привычками, который не прочь пофлиртовать с девушками.

В Арау студент остановился в доме Йоста Винтелера, блестящего филолога, орнитолога-любителя и поклонника естественных наук. Среди членов его семейства Альберт нашел заботу и поддержку. Винтелеры были людьми веселыми, придерживались либеральных взглядов, они без конца спорили о книгах и о политике и по малейшему поводу устраивали праздник. Йоста Винтелера Альберт звал «папой», а его жену, Паулину, которая делила с его настоящей матерью не только имя, но и любовь к игре на пианино, — «мамой». Что касается детей Винтелеров, то чувства молодого Эйнштейна к ним нельзя назвать братскими: по крайней мере если говорить о Мари Винтелер, в которую Альберт весьма скоро влюбился.

Окончив школу в Арау, Эйнштейн собирался начать новый этап своей жизни в качестве студента одного из самых престижных университетов Швейцарии.

Однажды, разговаривая с Альбертом, Мари полушутя сказала, что боится, как бы физика не разлучила их. И действительно, среди 11 товарищей Эйнштейна по курсу оказалась и Милева Марич, умная и независимая девушка, способная разделить с Альбертом увлечение кинетической теорией газов и этим резко отличавшаяся от остальных представительниц прекрасного пола, которых он знал. Милева стала студенческой любовью Эйнштейна и его первой женой.

Словно в оперной увертюре, в 17 лет будущий ученый уже начертил лейтмотив своей жизни — он написал первую научную статью, вступил в конфликт с представителями власти, успел влюбиться и разлюбить и поставил вопрос, способный вызвать научную революцию: что случится, если погнаться за лучом света и догнать его?



# Всякое движение относительно

На протяжении 1905 года Эйнштейн, обычный служащий патентного бюро в Берне, опубликовал пять статей, которые произвели в физике того времени настоящий переворот. В одной из этих работ содержались наброски будущей специальной теории относительности.

После определения конечной скорости света в вакууме привычные понятия времени и пространства были пересмотрены.



Погоня за лучом света привела Эйнштейна к специальной теории относительности, которая, помимо прочего, позволяла примирить разные точки зрения в физике. И это огромное академическое достижение для юного ученого, который чаще терпел поражения, чем одерживал победы. В годы своей учебы в Политехникуме Эйнштейн практически разорвал отношения с преподавателями университета, с академическими организациями, которые могли бы предоставить ему место работы, и даже с собственной семьей. Если бы в это время Эйнштейн должен был выбрать девиз, чтобы начертать его на своем щите, там скорее всего оказались бы слова: *Albert contra mundum* (лат. «Альберт против всего мира»). Подход юноши к учебе, к романтическим отношениям и к занятиям наукой противоречил всем стандартам, принятым в том обществе, где ему выпало жить.

Симпатия, возникшая между Генрихом Вебером и Эйнштейном при первом знакомстве, исчезла после того, как Альберт провалил первые вступительные экзамены в Политехникум. Разочарование преподавателя, судя по всему, не было связано со способностями незадачливого абитуриента: впоследствии Вебер всегда отмечал работы Эйнштейна наивысшим баллом. Дело в том, что юный физик не слишком рьяно исполнял роль преданного и послушного ученика. Вместо почтительно-пышного «герр профессор» он предпочитал обра-

щаться к преподавателю без излишнего пиетета — «герр Вебер». В течение первых семестров Альберт с энтузиазмом ждал лекций Вебера по термодинамике, но скоро понял, что профессор преподает совсем не ту физику, которую он хотел изучать: об электродинамической теории Максвелла на занятиях не прозвучало ни слова. Эйнштейн решает заняться самообразованием и начинает прогуливать лекции. К счастью, его университетский друг, Марсель Гроссман, лекций не пропускал и вел отличные конспекты, по которым Альберт и готовился к экзаменам.

Если это розы, то они расцветут.

**Ответ Мишеля Бессо, инженера и близкого друга Эйнштейна, на вопрос последнего о своих идеях**

Однако пустующее место в аудиториях было замечено, и это было расценено как проявление неуважения. Вебер обратился к Альберту со словами: «Вы умны, юноша, очень умны. Но у вас есть большой недостаток. Вы совершенно не терпите замечаний. Никаких замечаний». Профессор Вебер, протянувший Эйнштейну руку помощи по его прибытии в Цюрих, повернулся к юноше спиной после того, как тот окончил университет. Из студентов, сдавших выпускные экзамены на отлично, Эйнштейн единственный не получил предложения стать ассистентом на кафедре. Дверь перед ним захлопнулась и в других академических областях. Потенциальные работодатели обращались за рекомендациями к Веберу, и профессор, судя по всему, отвечал им искренне и без промедлений. Все прошения Эйнштейна о том, чтобы его кандидатура была рассмотрена на пост ассистента — первая ступень, необходимая в научной карьере любого начинающего исследователя, — наталкивались на стену молчания. Вначале Альберт был возмущен. «Страшно подумать, какие препоны учиняют эти старые филистеры на пути всякого, кто не принадлежит к их клике, — писал Эйнштейн в 1901 году. — Эти люди в любом умном молодом человеке автоматически видят опасность для своей трухлявой чести». Позже переживать неудачи ему помогало чувство юмора.

Этот конфликт, разразившийся в стенах Политехникума из-за «аллергии» Эйнштейна на нормы общественного договора, не был единственным. Сразу после поступления, в зимний семестр 1896 года, он познакомился с Милевой Марич — студенткой из Сербии, которая была на три года старше Альберта и приехала в Швейцарию, чтобы продолжить учебу в университете: ее родное австро-венгерское государство считало, что научная стезя — неподходящий выбор для женщины.

Родители Эйнштейна одобряли подростковый роман их сына и Мари Винтелер и на появление Милевы Марич отреагировали с таким ужасом, словно перед ними появился призрак. Паулина отвешивала в адрес новоявленной пассии Альберта такие «комплименты», что стала совсем похожа на карикатурную опереточную свекровь. Милева была «слишком старой», «внешне непривлекательной» и вообще женщиной, которая не могла рассчитывать на то, чтобы «войти в хорошую семью». Убежденная в своей правоте, Паулина засыпала сына зловещими предсказаниями: «Она же книжный червь, прямо как ты, а тебе нужна женщина», «Когда тебе будет тридцать, она уже превратится в старую ведьму». У Альберта, естественно, была иная точка зрения: «Я прекрасно понимаю моих родителей. Они считают, что для мужчины жена — это роскошь, которую он может позволить себе лишь после того, как добьется надежного материального положения. Но я весьма невысоко ценю подобные идеи об отношениях между мужчиной и женщиной, так как, следуя логике этого представления, жена отличается от проститутки только тем, что благодаря лучшим условиям жизни может добиться от мужчины пожизненного контракта. Такая точка зрения — естественное следствие преобладания разума над чувствами, как в случае моих родителей, так и в случае большинства людей. Но нам повезло жить при счастливых обстоятельствах, которые позволяют нам гораздо шире наслаждаться жизнью». Одна лишь мысль о том, к чему могло привести подобное наслаждение, лишала Паулину сна.

Родители оплакивали сына, будто он умер. Узнав, что Милева провалила выпускные экзамены, Паулина спросила:

«А теперь что с ней будет?» На что Эйнштейн решительно ответил: «Она станет моей женой». Его мать при этих словах сына упала на кровать и накрыла голову подушкой, пытаясь заглушить плач. Эйнштейн описал эту сцену Милеве во всех подробностях. Неудивительно, что девушка не питала к будущей свекрови особой симпатии: «Кажется, будто эта сударыня решила во что бы то ни стало сделать невыносимой не только мою жизнь, но и жизнь собственного сына».

Нет сомнений в том, что позиция Паулины отражала обычное желание представителей буржуазии той эпохи — устроить сыну удачную женитьбу.

Между тем Альберт был просто очарован Милевой и ошеломлен с первой их встречи на лекциях в Политехникуме. Для такого человека, как он, худший упрек Паулины звучал наилучшей похвалой: «Она книжный червь, прямо как ты». Девушка, мечтавшая о научной карьере, в то время была диковинной птицей, драгоценным редким видом. Влюбленные Милева и Альберт вместе вели исследования, вместе их обсуждали, вместе жили и вместе преодолевали препятствия и сопротивление семьи. Они строили прекрасные планы на будущее, в котором любовный пыл соединялся со страстью к науке.

Все письма Альберта к Милеве в тот период вращаются вокруг двух всепоглощающих явлений — физики и любви. Молодые люди все-таки осуществили свою мечту. В Венгрии Милева еще до брака родила дочь (о ее судьбе ничего не известно), в 1903 году они с Альбертом сыграли свадьбу, на которую не пришел ни один родственник. После у четы родились еще двое детей, но испытание бедностью превратило романтическую идиллию в супружескую драму. Из-за постоянной нехватки денег отношения Милевы и Альберта начали портиться, супруги исполнили каждый свою партию в симфонии ревности и упреков, а в довершение развязали окопную войну, используя в качестве оружия собственных детей. Словом, обычная история, которая никому не была бы интересной, если бы один из ее участников не стал одним из величайших людей XX века.



ФОТОГРАФИИ СВЕРХУ:  
фото Альберта  
и Милевы,  
сделанное между  
1904 и 1905  
годами. Справа  
супружеская чета  
вместе с сыном,  
Гансом Альбертом.



ФОТОГРАФИЯ ВНИЗУ:  
Милева с Гансом  
Альбертом  
и Эдуардом,  
вторым сыном,  
родившимся  
в браке  
с Эйнштейном.

## ТАЙНЫЙ АВТОР ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ?

Одна из самых спорных глав в биографии Эйнштейна повествует о роли Милевы в создании теории относительности. Женщины столетиями занимали в науке второстепенное место, их открытия в лучшем случае замалчивались, а порой и присваивались без зазрения совести. Описания бесчестного произвола со стороны мужчин — покровителей, учителей или партнеров по научной работе — могли бы составить целую библиотеку. К примеру, британский математик Уильям Юнг (1863–1942) не считал предосудительным держать в тени свою супругу, тоже ученого и математика Грейс Чизхольм (1868–1944): «По правде говоря, мы оба должны были бы ставить имена под нашими статьями. Но это ни одному из нас не выгодно. Поэтому этого не будет. Мне достанутся лавры и знание, а тебе — только знание. В наше время ты не можешь рассчитывать на публичную карьеру. Я могу и потому ею занимаюсь».

Можно ли приложить ту же схему к браку Альберта и Милевы? Принадлежит ли авторство теории относительности, хотя бы частично, другому человеку? Мы мало знаем о спорах Эйнштейна и Милевы, об их разговорах с глазу на глаз. Некоторые из самых веских обвинений — например, заявление о том, что существовал оригинал статьи «К электродинамике движущихся тел», подписанный обоими, — испарились после тщательного исследования вопроса. Есть те, кто замечает не один, а два почерка в рукописи этой статьи, формулирующей основы специальной теории относительности. Наконец, главными аргументами обвинения выступают вырванная из контекста цитата (речь идет о фразе из письма от 1901 года: «Как горд и счастлив я буду, когда мы вместе с успехом окончим наш труд об относительности движения») и тот факт, что после развода Эйнштейн отдал Милеве денежный эквивалент Нобелевской премии. Но, как мы увидим, понятие относительности движения было достаточно распространенным концептом в физике той эпохи, а 1901 год — это слишком ранняя дата, чтобы отнести ее к статье, опубликованной четыре года спустя. Денеж-



ные же выплаты после развода совершенно не обязательно связаны с признанием какого-либо авторства.

Нельзя отрицать, что Милева прекрасно понимала содержание статей Эйнштейна и даже могла их редактировать и исправлять. Ученому нравилось обсуждать свои идеи с другими людьми — Мишелем Бессо, Филиппом Франком или Морисом Соловиным. Такие упражнения в диалектике подстегивали его мысль. Сложно себе представить, что он не делился своими размышлениями с самым близким человеком. Но мы никогда не узнаем, в какой степени помогли Эйнштейну советы жены и насколько ценными они были. Бóльшая часть писем Милевы к мужу была утрачена, а в сохранившихся очень редко встречаются упоминания о науке. Письма самого Эйнштейна полны восторга, пробужденного в нем чтением книг и общением с другими учеными. Сторонники теории заговора, конечно, всегда могут сказать, что письма Милевы, указывавшие на ее вклад в научную работу, были брошены в горящий камин. Однако до нас в сохранности дошли ее письма к подруге Элен Кауфлер: в них супруга ученого сообщает о восхищении, которое у нее вызывают труды ее мужа, но нет ни малейших упоминаний о ее собственной к ним причастности.

Единственное, в чем можно быть уверенными, так это в том, что Эйнштейн остался великим ученым и после развода. Самый большой и амбициозный его проект, общая теория относительности, был завершен в Берлине, где он работал в одиночестве. Хотя в отношении Эйнштейна к Милеве можно заметить характерное для эпохи мужское пренебрежение, в его портрет никак не вписывается склонность к узурпаторству. До крушения академических мечтаний Милевы и после двойного провала ее выпускных экзаменов Эйнштейн всегда поддерживал жену и с энтузиазмом относился к идее совместной научной работы. В своих письмах Альберт уговаривал Милеву не бросать науку, несмотря на неудачи. В ряде случаев Эйнштейн выступал в защиту других женщин-ученых, боровшихся против академического ostracism, — как, например, в случае с немецким математиком Эмми Нётер (1882–1935).

## ВХОЖДЕНИЕ В ОБЩЕСТВО

Эйнштейн довольно тяжело переживал свое противостояние с социумом, хотя и старался не подавать виду. Да, он отстоял свой брак с Милевой, но ученого расстраивала тревога родителей за его шаткое профессиональное будущее. В одном из писем к сестре Майе Альберт признается, не скрывая своей тоски:

«Я стал обузой для семьи [...] Наверное, лучше бы я вовсе не родился на свет. Одна лишь мысль поддерживает меня и не дает впасть в отчаяние: я всегда делал все, что в моих маленьких силах, и годами не позволяю себе никаких развлечений и удовольствий, за исключением тех, которые связаны с моими занятиями наукой».

В моменты отчаяния Эйнштейн подумывал даже о том, чтобы бросить науку и поступить на работу в страховую компанию. Однако он все же сумел удержаться, не брезгуя никакими временными заработками: ученый давал частные уроки, заменял преподавателя математики в высшей технической школе Винтертура, был репетитором в интернате Шаффхаузена и т. д. И довольно часто плохо ел. Один из его друзей, Фридрих Адлер, признавался, что начал серьезно бояться, как бы Альберт не умер с голоду. А когда давний знакомый Эйнштейна, к тому времени уже доктор Макс Тэлмей нанес ему однажды визит, то заметил, что «обстановка выдавала крайнюю бедность хозяина». Наконец, при содействии старого товарища по Политехникуму Марсея Гроссмана Эйнштейн получил работу в бернском патентном бюро. За очень умеренную плату он должен был оценивать степень жизнеспособности тех изобретений (большинство из них были электротехническими), на которые их авторы желали оформить патент. И это была отличная возможность приобщиться к творческой атмосфере изобретений и вернуться в мир бобин, коммутаторов и динамо-машин, в котором Альберт под опекой дяди Якоба делал свои первые шаги. Позже, 34 года спустя, Эйнштейн писал вдове Гроссмана, что это была та работа, без которой он бы «не умер, но потерял бы всю силу духа». Должность в бюро патентов предоставляла

## БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

Июньским днем 1827 года шотландский ботаник Роберт Броун исследовал под микроскопом частички пыльцы, погруженные в воду. Он увидел, что они дрожали, будто под обстрелом из невидимых пулеметов. Невидимые пули заставляли их вращаться и перемещаться по зигзагообразным траекториям. Броун, чей микроскоп обладал лишь трехсоткратным увеличением, не мог увидеть молекулы воды, которые хаотично сталкиваются с мельчайшими погруженными в воду объектами и передают им энергию своего движения. Вплоть до начала XX века некоторые светила науки подвергали сомнению само существование атомов. В мае 1905 года Эйнштейн закончил статью, которая подлила масла в огонь полемики. Статья называлась «О движении взвешенных в покоящейся жидкости частиц, требуемом молекулярно-кинетической теорией теплоты»; в ней автор давал статистический анализ тех видимых эффектов, которые могло бы вызвать тепловое движение невидимых молекул. Во введении он упомянул о наблюдениях Роберта Броуна и их возможной связи с выводами статьи:

«В этой работе будет показано, что согласно молекулярно-кинетической теории теплоты взвешенные в жидкости тела микроскопических размеров вследствие молекулярного теплового движения должны совершать движения такой величины, что легко могут быть обнаружены под микроскопом. Возможно, рассматриваемые движения тождественны с так называемым броуновским молекулярным движением».

Три года спустя французский ученый Жан Перрен с помощью лабораторных исследований подтвердил прогнозы Эйнштейна. В своей книге «Атомы» он делал следующий вывод: «Думаю, что теперь будет сложно найти рациональные аргументы против молекулярных гипотез».

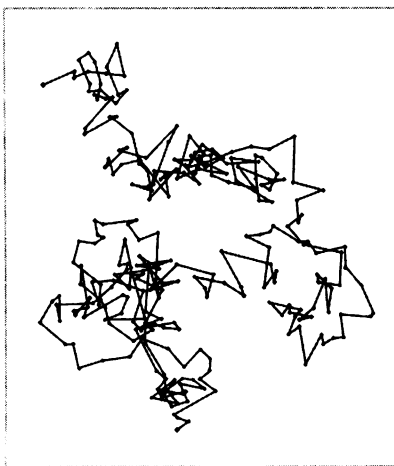


Диаграмма Жана Перрена, иллюстрирующая беспорядочное движение мельчайших частиц, взвешенных в жидкости.

ученому необходимые средства для того, чтобы привести в порядок мысли и продолжать исследования.

В 1905 году Эйнштейн выступил с одним из самых ярких дебютов в истории науки. Находясь на положении абсолютно маргинала в академической научной системе, он опубликовал пять статей, в которых говорил о квантовой природе света, о броуновском движении, о специальной теории относительности и об эквивалентности массы и энергии. Когда научное сообщество заметило эти работы, ученые стали искать в сносках и библиографии ссылки на авторитетный труд какого-либо профессора, но напрасно. В своей основополагающей статье о теории относительности, «К электродинамике движущихся тел», Эйнштейн ссыался только на Ньютона, Фарадея и Максвелла и с благодарностью упоминал своего коллегу из патентного бюро: «В заключение отмечу, что мой друг и коллега М. Бессо явился верным помощником при разработке изложенных здесь проблем и что я обязан ему за ряд ценных указаний». Это было равноценно заявлению, что самому научному сообществу Эйнштейн ничем себя обязанным не считает.

## **ПРОВОЗВЕСТНИКИ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

Наука восторжествовала там, где потерпели поражение история, философия и право, где изо дня в день терпим поражение мы сами — в деле согласования различных точек зрения по поводу того, что происходит в мире на самом деле. И торжеству науки в немалой степени помогли математические вычисления. Конечно, потребовались и жертвы: за борт пришлось выбросить привычные интуитивные понятия времени и пространства.

Первый шаг в направлении принципа относительности сделал еще Галилео Галилей. Во «Втором дне» своего «Диалога о двух главнейших системах мира» он предлагает читателям любопытный эксперимент.

«Уединитесь с кем-либо из друзей в просторное помещение под палубой какого-нибудь корабля, запаситесь мухами, бабочками и другими подобными мелкими летающими насекомыми. Пусть будет у вас там также большой сосуд с водой и плавающими в нем маленькими рыбками. Подвесьте наверху ведро, из которого вода будет падать капля за каплей в другой сосуд с узким горлышком, подставленный внизу. Пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте прилежно, как мелкие летающие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы, как вы увидите, будут плавать безразлично во всех направлениях; все падающие капли попадут в подставленный сосуд, и вам, бросая какой-нибудь предмет, не придется бросать его с большей силой в одну сторону, чем в другую, если расстояния будут одни и те же; и если вы будете прыгать сразу двумя ногами, то сделаете прыжок на одинаковое расстояние в любом направлении.

Прилежно наблюдайте все это, хотя у нас не возникает никакого сомнения в том, что, пока корабль стоит неподвижно, все должно происходить именно так. Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью, и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту или другую сторону) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно»<sup>1</sup>.

Под «равномерным» Галилей подразумевал «двигающееся с постоянной скоростью». Цель этих опытов заключается в том, чтобы найти признаки движения корабля в траектории полета мух, падении капель и в движении рыб. Однако таких признаков не наблюдается. Находясь под палубой корабля, без внешних подсказок, мы не можем ответить на вопрос, движется корабль с постоянной скоростью или стоит неподвижно. На американских горках лучшим детектором движения служат ощущения в животе, но этот детектор реагирует только на ускорение.

Перестав доверять зрению, обратимся к математике.

---

<sup>1</sup> Перевод А. И. Долгова. — *Примеч. ред.*

Если вернуться к кораблю Галилея, можно описать его эксперимент по-другому. Мы выберем две точки зрения или, как говорят физики, две *системы отсчета*. Речь сейчас идет об абстрактных понятиях. Если угодно, в качестве систем отсчета можно представлять себе людей (хотя человеческие ощущения ненадежны) либо аппараты, способные регистрировать одну или несколько физических величин. Для удобства обозначим эти системы буквами  $G$  и  $D$ . Если одна из систем отсчета неподвижна или перемещается с постоянной скоростью относительно другой, она будет называться *инерциальной*.

Одну из систем отсчета мы установим на причале, она будет неподвижной. Назовем ее «Галилей» ( $G$ ) и все расстояния будем отмерять от той точки, где она находится. Справа и впереди нее будут располагаться положительные величины,

а слева и позади — отрицательные. С помощью системы отсчета «Галилей» мы можем определить координаты в пространстве любого элемента (рисунк 1).

Это не единственная возможная точка зрения. Вторая наша система отсчета отправится в плавание в трюме корабля и будет соответствовать студенту Пизанского университета Доминику, одному из учеников Галилея, который согласился провести предложенный учителем эксперимент. Он будет находиться в левом нижнем углу трюма (см. рисунок), где мы и зафиксируем нулевую точку отсчета ( $D$ ).

Предположим, что корабль движется вправо вдоль причала с постоянной скоростью  $u$ .

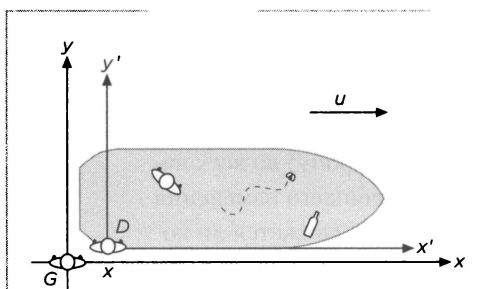


РИС. 1

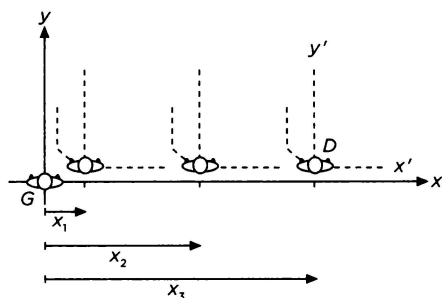


РИС. 2

Нам нужно, чтобы Галилей мог видеть Доминика, но при этом сам ученик не должен знать, что делается за бортом. Поэтому предположим, что в трюме есть ряд иллюминаторов, через которые внешний наблюдатель может увидеть, что происходит внутри, но Доминик стоит к иллюминаторам спиной. Галилей видит, что положение Доминика в пространстве по мере движения корабля меняется (см. рисунок 2).

Часы участников эксперимента перед началом опыта были синхронизированы для того, чтобы делать временные замеры.

Если Галилей устанет измерять расстояние, он сможет легко рассчитать местонахождение своего ученика в любой момент времени. Для этого ему надо умножить скорость корабля ( $u$ ) на время, проведенное им в пути ( $t$ ). Если  $x$  — это расстояние, проделанное Домиником, то:

$$x = u \cdot t.$$

Доминик, запертый вместе с мухами в трюме, не знает, что удаляется от своего учителя. Для него его положение не изменилось:  $x' = 0$ .

Видя летающую рядом муху, он может определить ее координаты ( $x'm$ ;  $y'm$ ).

Галилей сквозь один из иллюминаторов тоже видит насекомое и определяет высоту его полета координатой  $ym$ , совпадающей с координатой Доминика  $y'm$ . Однако координаты горизонтальной позиции мухи, данные учеником и учителем, разнятся:  $xtm$  и  $x'm$  не совпадают. К передвижениям мухи по трюму Галилей добавляет постоянное движение корабля  $u$ .

Здесь мы можем остановиться и спросить себя: существует ли какой-либо способ, позволяющий связать между собой наблюдения учителя и ученика? Положительный ответ дают следующие уравнения, которые называются преобразованиями Галилея:

$$\begin{aligned} x &= x' + u \cdot t' \\ y &= y' \\ t &= t'. \end{aligned} \quad [1]$$

С их помощью Галилей может перевести любые данные Домиником координаты, будь то траектория полета мухи или движение другого объекта, в свою систему отсчета.

У ученика тоже есть свой метод преобразования наблюдений Галилея:

$$\begin{aligned}x' &= x - u \cdot t \\ y' &= y \\ t' &= t.\end{aligned} \quad [2]$$

Разница состоит лишь в том, что Доминик должен вычитать, а не прибавлять расстояние, пройденное кораблем по горизонтали. Если Доминику, находящемуся в трюме, постоянно сообщать расстояние до Галилея, ученик придет к выводу, что учитель отдаляется от него с постоянной скоростью —  $u$ . Но если он повернется к иллюминатору, то увидит, что движется сам, а Галилей неподвижно стоит на причале. Это, в свою очередь, также неверно, поскольку Галилей далеко не неподвижен: он находится на поверхности планеты, которая мчится со скоростью 30 км/с вокруг Солнца и к тому же вращается вокруг собственной оси со скоростью, превышающей 1500 км/час. Так, значит, объект, находящийся в покое, это Солнце? И вновь ничего подобного. Солнце — это звезда, движущаяся вокруг центра Млечного Пути. А наша галактика?.. Так можно бесконечно перепрыгивать от одной системы к другой, разматывая настоящий клубок траекторий.

Если бы для того, чтобы описать пройденное автомобилем расстояние, нам необходимо было учесть, кроме скорости самой машины, скорость Земли, Солнца и Млечного Пути, мы бы исписали целые страницы ненужными расчетами. Поэтому самым практичным выходом будет определить систему отсчета и затем описывать движение *относительно* этой системы. Спор о гелиоцентричности и геоцентричности в действительности вовсе не о том, что движется вокруг чего: Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли. Обе точки зрения в равной степени имеют право на существование, и ни одна из них не лучше другой. Хотя по простоте траекторий движения первая, несом-



ненно, выигрывает. Земля, двигаясь вокруг Солнца, описывает эллипсы. Солнце же выписывает вокруг нашей планеты сложнейшие спирали. Мухи, спутники и корабли с течением времени изменяют свое положение относительно нашей позиции, и этот танец объектов может быть разным, но каждая из этих картин верна и может быть связана с другой без каких-либо внутренних противоречий.

Опыт, который предлагает проделать в трюме корабля Галилей, подразумевает ускорение. Падающие капли, летающие насекомые и прыгающие люди передвигаются согласно формулам Ньютона, который изобрел метод адекватного выражения динамических законов. Его уравнения учитывают ускорение,

### СЛЕПОЙ ЗАКОН

Если движение происходит только в одном измерении, мы можем пользоваться вторым законом Ньютона:

$$F = \frac{d(m \cdot v)}{dt}. \text{ Если } m \text{ — константа, то: } F = m \cdot \frac{dv}{dt} = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = m \cdot a.$$

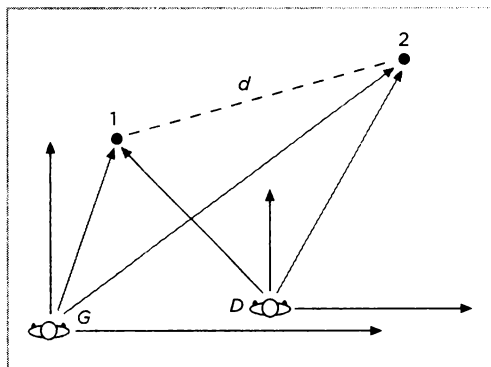
Для обеих систем отсчета формула имеет тот же вид.

$$\text{Для системы } G: F = m \cdot \frac{d^2x}{dt^2}.$$

Если с помощью уравнений Галилея совершить преобразование в систему отсчета, привязанную к трюму корабля, любая измеренная с причала сила, действующая на изменения скорости движения рыбы или мухи, будет выражаться следующим образом:

$$\begin{aligned} F &= m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = m \cdot \frac{d^2(x' + u \cdot t')}{dt'^2} = m \cdot \frac{d^2x'}{dt'^2} + m \cdot \frac{d^2(u \cdot t')}{dt'^2} = \\ &= m \cdot \frac{d^2x'}{dt'^2} + m \cdot u \cdot \frac{d^2(t')}{dt'^2} = m \cdot \frac{d^2x'}{dt'^2} = F'. \end{aligned}$$

Как мы видим, и Галилей, и Доминик, каждый исходя из своих координат, используют одну и ту же формулу. Таким образом, преобразование Галилея не затрагивает уравнения динамики.



Несмотря на то что наблюдатели G и D находятся на разном расстоянии от пунктов 1 и 2, дистанция  $d$  между этими двумя пунктами (1 и 2) будет одинакова для обоих наблюдателей.

ляет оценить лишь относительное движение, но не абсолютное.

Второй драгоценный камень в короне Ньютона, закон всемирного тяготения, зависит от расстояния между телами — еще одна относительная величина, не зависящая от перемены координат между инерциальными системами.

то есть изменение скорости; эти расчеты слепы к постоянной скорости корабля. Кто движется, Галилей или Доминик? Уравнения Ньютона не зависят от системы отсчета — в этом и состоит принцип относительности Галилея. Механические опыты не могут дать ответ на вопрос, движемся мы с постоянной скоростью или пребываем в состоянии покоя. Классическая динамика позво-

## ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРИЗУЕТСЯ

Наука XIX века опьянела от перспектив, которые сулила электрическая революция, но вскоре почувствовала и похмелье, вызванное неудобствами в сфере теории (некоторые мы рассмотрели в предыдущей главе). Зависящие от скорости электромагнитные взаимодействия не только усложняли до сих пор простые схемы центральных и мгновенных сил и подрывали ньютоновский закон о действии и противодействии, но и угрожали авторитету принципа относительности, сформулированного Галилеем две сотни лет назад.

Законы Максвелла не были похожи на законы Ньютона: при преобразовании Галилея они изменялись. В любой инерциальной системе отсчета можно выразить силу как произведение массы на ускорение без необходимости добавлять новые понятия из-за изменившихся координат. Но уравнения Максвелла претерпевают метаморфозы, сравнимые с превращени-

ем доктора Джекила в мистера Хайда<sup>2</sup>. В неподвижной системе отсчета они выглядят лаконично и элегантно, но при переводе с помощью формулы [2] в движущуюся систему, например корабль Доминика, появляются различные новые элементы, значительно усложняющие исходные уравнения. Эти элементы соответствуют физическим явлениям, которые никто не видел. Например, линии магнитного поля вокруг магнита в состоянии покоя непрерывны, но в движении становятся разорванными. Оказывается, что уравнения Максвелла не были слепы к постоянной скорости и позволяли обнаружить равномерное передвижение.

Любопытно, что Максвелл вывел свои элегантные формулы, основываясь на явлениях, которые происходят на поверхности Земли — и все согласятся, что эта система отсчета является движущейся. Возможно ли, что в сравнении с другими системами отсчета планета Земля имела свои преимущества? Этот вопрос ставил физиков на край геоцентрической пропасти. Неужели Библия говорит правду и небесные светила движутся вокруг нашей планеты? Действительно ли только на Земле и больше ни в какой движущейся системе отсчета уравнения Максвелла проявляют всю свою силу и простоту?

Поскольку уравнения Максвелла равно просты в обеих системах отсчета,  $G$  и  $D$ , электромагнитные эксперименты тоже не годятся для того, чтобы установить, движется наблюдатель с постоянной скоростью или находится на причале в состоянии покоя.

Для того чтобы разрешить это противоречие, потребовалось поправить формулы преобразования Галилея, несмотря на всю их логичность. В 1904 году нидерландский ученый Хендрик Лоренц (1853–1928) предложил новый набор уравнений для перевода координат из одной системы отсчета в другую, при условии, что системы отличаются параметром постоянной скорости одной из них. Научное сообщество отметило событие, дав уравнениям имя изобретателя — так на свет появились

---

<sup>2</sup> «Странная история доктора Джекила и мистера Хайда» — повесть шотландского писателя Роберта Стивенсона о том, как в одном человеке уживаются две совершенно не похожие друг на друга личности. — *Примеч. ред.*

## ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА

Выглядят они следующим образом:

$$x' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \cdot (x - u \cdot t)$$

$$y' = y$$

$$t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \cdot \left(t - \frac{u}{c^2} \cdot x\right)$$

$$x = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \cdot (x' + u \cdot t')$$

$$y = y'$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}} \cdot \left(t' + \frac{u}{c^2} \cdot x'\right)$$

Достаточно внимательно посмотреть на формулу, связывающую  $t'$  с  $t$  и  $x$ , и вы заметите некую странность. Определенному моменту времени в покоящейся системе отсчета ( $t$ ) соответствует множество различных значений  $t'$  — в зависимости от точки пространства, в которой мы находимся ( $x$ ). Одновременные события, происходящие в двух разных точках причала, будут разнесены во времени, если наблюдать их из трюма корабля. Кроме того, оказалось, что при скорости меньшей, чем скорость света (когда  $u^2/c^2$  и  $u/c^2$  практически равны нулю), уравнения сводятся к преобразованиям Галилея. Попробуем представить себе масштаб коррекции.

Рассчитаем величину  $u^2/c^2$  в случае идущего человека (шагает он со скоростью примерно 5 км/час) и в случае летящей пули (предположим, ее скорость равна 1000 м/сек). Получаем  $2,1 \cdot 10^{-17}$  и  $1,1 \times 10^{-11}$  соответственно. Преобразования приятны глазу физика, и между переменными есть определенная симметрия. Если  $x'$  зависит от  $x$  и  $t$ ,  $t'$  также зависит от них. В случае Галилея время  $t'$  не зависело от точки пространства  $x'$ . Это преобразование вызвало у математиков ощущение дежа вю: оно напоминало уравнения вращения объектов в пространстве. Аналогия привела к тому, что был сконструирован такой пространственно-временной континуум, в котором преобразования Лоренца соответствуют вращению объектов в пространстве с четырьмя измерениями.



преобразования Лоренца. Отметим их большой плюс: в применении к уравнениям Максвелла преобразования Лоренца позволяют сохранить их восхитительную лаконичность. А при скорости движения намного меньшей, чем скорость света, они принимают вид преобразований Галилея. Поскольку скорости, с которыми мы обычно передвигаемся, очень малы по сравнению со скоростью света, неудивительно, что наш здравый смысл не сразу привел нас к уравнениям Лоренца и в течение нескольких веков удовлетворялся примерными расчетами Галилея. Необходимая коррекция так мала, что была обнаружена не в лабораториях, а с помощью теоретических рассуждений.

Едва физики пожали друг другу руки, радуясь находке Лоренца, как ее побочные эффекты вновь вызвали беспокойство. Преобразования подразумевали, что определенному моменту времени в неподвижной системе соответствовало бесконечное число значений в системе движущейся. Бесконечное в буквальном смысле: по одному на каждую точку пространства. Таким образом, два события, видимые как одновременные в двух отдельно взятых точках причала, не были одновременными для наблюдателя, находящегося в трюме корабля. Если немного поиграть с уравнениями, получится, что в том мире, который они описывают, тела при движении сжимаются, а время в движущихся системах протекает медленнее. Ученым нужны были очень веские причины, чтобы принять подобные абберрации, и они стали рьяно защищать прежние позиции. Прежде чем сдаться, наука приложила все силы для того, чтобы вписать электромагнетизм в более привычные рамки.

## **ВЕТРА ЭФИРА**

До появления работ Максвелла и Герца ученые полагали, что явления, существующие в форме волн, распространяются с опорой на какую-либо среду: например, звук передается по воде или воздуху. Здравый смысл (иногда опасный) подсказывал, что это универсальный принцип. Уравнения Максвелла

описывали свет как волну, и по этой причине было высказано предположение о наличии среды, в которой он распространяется, то есть об эфире.

В отличие от греческих философов, физики не стали убивать время, рассуждая о свойствах эфира, а закрылись в своих лабораториях и принялись искать новую субстанцию. Однако ни один из самых тонких опытов не подтвердил существование невидимой среды, в которой путешествует планета Земля.

Эфир вел себя, словно убийца из детектива: он совершал преступление (переноса с собой свет), но после скрывался без

### **ЭКСПЕРИМЕНТ МАЙКЕЛЬСОНА — МОРЛИ**

В 1887 году Альберт Майкельсон и Эдвард Морли попытались измерить силу воздействия эфира на движение Земли — эффект, сравнимый с ощущением ветра, которое испытывает мотоциклист, двигаясь сквозь неподвижную воздушную массу. Эксперимент можно разделить на четыре фазы.

1. Пучок света расщепляется так, чтобы отдельные лучи были перпендикулярны друг другу. Для этого используется стеклянная пластина, посеребренная с одной стороны ровно настолько, чтобы частично пропускать поступающие на нее световые лучи, а частично отражать их. Получившиеся когерентные лучи проходят одну и ту же дистанцию.
2. На равноудаленном расстоянии от посеребренной пластины находятся два зеркала, отражающие лучи.
3. Направление одного из лучей совпадает с направлением движения Земли. Если эфир, в котором движется планета, существует, его присутствие должно нарушить синхронизацию лучей.
4. Когда две волны, *A* и *B*, совпадают, имеет место явление интерференции. Если волны полностью синхронны, их фазы совпадают и усиливают друг друга, приводя к возникновению третьей волны *C* (рисунок 1).

Если волны накладываются друг на друга таким образом, что с каждой вершиной одной из них совпадает впадина другой, волны взаимоуничтожаются (рисунок 2). Однако чаще всего при наложении двух волн возникает третий результат: они не совпадают, но и не исчезают (рисунок 3). В опыте с двумя лучами ожидался как раз третий результат, поскольку луч, перемещающийся в направлении движения

следа. Несомненно, что эфир был тонкой субстанцией, но после экспериментов он начинал казаться уж слишком эфемерным. Некоторые ученые, отчаявшись, заявляли, что всему виной заговор Природы, играющей в прятки со своими исследователями.

В этой атмосфере подозрений звучали самые разные объяснения происходящему, в том числе и довольно близкие к истине. Ответы на многие вопросы скрывались в уравнениях Максвелла, и тот, кто знал, как искать, мог их найти. К тому моменту, когда Эйнштейн появился на месте событий, Лоренц

Земли, должен был бы испытать сопротивление эфира и, возвратившись к посеребренной пластине, отставать по фазе от другого луча. Но оба луча сохраняли идеальную синхроню. Свет, казалось, совершенно игнорировал движение Земли. Что любопытно, Эйнштейн, не имея ни малейшего понятия о статье Майкельсона и Морли, предложил Веберу очень похожий опыт в качестве темы выпускной работы, но профессор его не одобрил.

РИС. 1

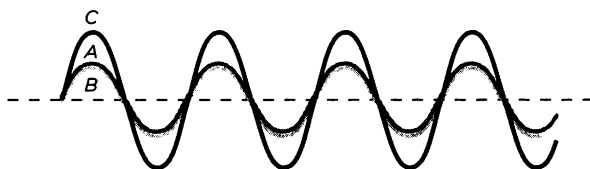


РИС. 2

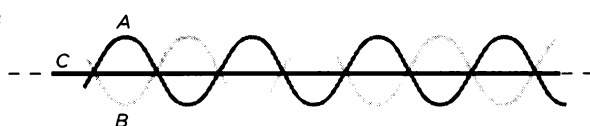
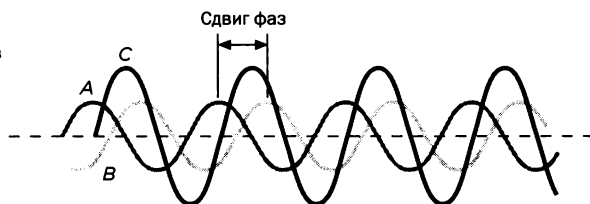


РИС. 3



и Пуанкаре уже собрали все недостающие элементы головоломки. Лоренц вывел формулу преобразования, позволявшую переходить от одной системы отсчета к другой, сохраняя без изменений уравнения Максвелла, а также пришел к выводу о таких важных следствиях этой формулы, как, например, сжатие тел в пространстве. Пуанкаре пристально следил за работой голландского физика, поддерживая с ним научную переписку. Между 1898 и 1905 годами он самостоятельно вывел принцип относительности, основываясь на постоянной скорости света и ставя под сомнение идею одновременности. Но взор обоим застилал туман эфира и авторитет существующей научной традиции — как если бы в расследовании преступления были найдены все доказательства, но полицейские отказывались бы верить в то, что преступником является аристократ.

Эйнштейн сыграл роль частного детектива, свободного от предрассудков и официальных обязательств. Пуанкаре сумел признать это преимущество ученого: «Особенно я восхищаюсь той легкостью, с которой он принимает новые понятия. Он не привязан к классическим принципам». В свою очередь, Эйнштейн говорил, что «если смотреть на историю развития теории относительности ретроспективно, то в 1905 году она, несомненно, была готова к тому, чтобы ее открыли». Ученый не мог смириться с тем, что изящная конструкция уравнений Максвелла должна разрушиться при простой смене системы отсчета, и был убежден, что единственный важный фактор в электромагнитных явлениях — относительное движение. Его статья «К электродинамике движущихся тел» начинается словами:

«Известно, что электродинамика Максвелла в современном ее виде приводит в применении к движущимся телам к асимметрии, которая несвойственна, по-видимому, самим явлениям. Вспомним, например, электродинамическое взаимодействие между магнитом и проводником с током. Наблюдаемое явление зависит только от относительного движения проводника и магнита, в то время как, согласно обычному представлению, два случая, в которых движется либо одно, либо другое из этих тел, должны быть строго разграничены».



Несмотря на то что убеждение Эйнштейна происходило из глубокого, почти инстинктивного понимания феномена электромагнетизма, усвоенного еще в детстве, во время игр на семейной фабрике, ученый понял, что следствия из преобразований Лоренца имели значение не только в рамках электродинамики. Эйнштейн не поддерживал тех, кто изо всех сил пытался разоблачить «заговор Природы», мешавший поискам эфира. Он был более амбициозен и искал единую понятийную парадигму, которая, как законы термодинамики, могла бы объять всю физику. Возможно, почерпнув вдохновение в евклидовых «Началах», ученый стремился сформулировать ряд постулатов, из которых потом с помощью дедукции можно было бы вывести логические заключения. Так, смелые наблюдения, высказанные в объемной статье «К электродинамике движущихся тел», были основаны всего лишь на двух пунктах:

- законы физики принимают один и тот же вид во всех системах отсчета, где движение является равномерным;
- скорость света в вакууме одна и та же для любой инерциальной системы отсчета.

Именно этот подход к науке, разворачивавший целый мир из двусоставного ядра теории, поразил многих читателей статьи. «Метод рассуждения Эйнштейна был для меня настоящим откровением, — признавался Макс Борн, один из отцов-основателей квантовой механики. — Он повлиял на меня сильнее, чем какой-либо другой научный опыт». Постулаты Эйнштейна, в отличие от евклидовых, не были очевидными, как, к примеру, определение точки или прямой. Ученый исходил из экспериментальных данных: «Теория обладает большим преимуществом, если ее главные понятия и основные гипотезы недалеко уходят от опыта».

Второй постулат вступает в противоречие с известной поговоркой о том, что «все относительно». Как заметил Макс Планк, «теория относительности приписывает абсолютный смысл такой величине, которая в классической физике обла-

дает лишь относительным характером, — скорости света». Постоянство скорости света выводится непосредственно из уравнений Максвелла.

Сам Эйнштейн обращал внимание на то, что первый постулат теории «также выполняется в механике Галилея и Ньютона». Все меняла константа скорости света в сочетании с принципом относительности. В довершение всего, к преобразованиям Лоренца можно было прийти исходя непосредственно из второго постулата, безо всяких отсылок к уравнениям Максвелла, что Эйнштейн и проделал в своей статье 1905 года.

Чтобы подтвердить наличие искажения, вызываемого постоянной скоростью света, вернемся на причал к Галилею. Проведем серию экспериментов: сначала — с опорой на законы Ньютона (механическая версия), а потом — на законы Максвелла (электромагнитная версия). Результаты помогут нам совершить теоретическое путешествие, после которого наша картина мира станет гораздо более точной, чем та, которую нам предлагает наш здравый смысл, — а потому гораздо более интригующей и необычной.

## КОНЕЦ ОДНОВРЕМЕННОСТИ

Мы уже видели, как преобразования Лоренца вводят новые правила игры, при которых наблюдатели при движении уже не совпадают в своем описании происходящего. Проанализируем, как постоянство скорости света влияет на одновременность двух событий.

### МЕХАНИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

У нас есть две системы отсчета,  $G$  (оси координат  $x$  и  $y$ ) и  $D$  (оси координат  $x'$  и  $y'$ ). Эти системы находятся в мире, где время течет одинаково во всех точках пространства, и потому часы наблюдателей идут с одинаковой скоростью.

*Версия наблюдателей,  
находящихся в корабельном  
трюме*

Два человека, назовем их  $A'$  и  $B'$ , располагаются по углам трюма, смотря в направлении положительного луча оси  $y'$ . В центре находится механизм, выбрасывающий одновременно два мяча, один направо, другой налево; оба мяча летят с одинаковой скоростью  $v$ . Мы не будем учитывать ни силу тяготения, ни трение. Третий человек,  $C'$ , занимает свое место между  $A'$  и  $B'$ , напротив аппарата.  $A'$ ,  $B'$  и  $C'$  синхронизируют свои часы, и все получают задание зарегистрировать некоторое событие, причем для каждого оно свое. Первый отметит время удара мяча о стену слева, второй — удар мяча о стену справа, а третий ( $C'$ ) — момент, когда машина выбросит мячи (рисунок 3). Когда машина выбрасывает мячи,  $C'$  отмечает по своим часам время  $t'_0$  (рисунок 4). Когда  $A'$  и  $B'$  видят, что мяч ударился о соответствующую стену, они отмечают время  $t'_1$  и  $t'_2$  (рисунок 5).

Оба мяча преодолевают одно и то же расстояние ( $L'/2$ ) с одной и той же скоростью. Если все три наблюдателя сравнят свои замеры и разности  $t'_2 - t'_0$  и  $t'_1 - t'_0$ , они получат одинаковый результат. Заключение: мячи достигли стен в один и тот же момент времени.

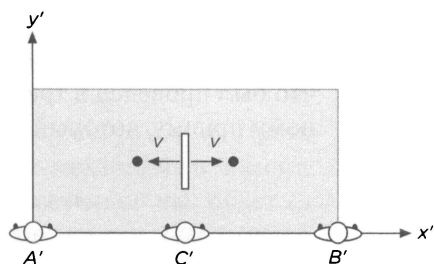


РИС. 3

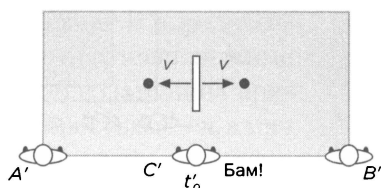


РИС. 4

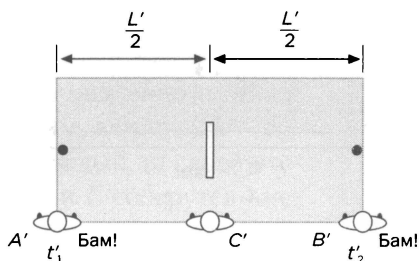


РИС. 5

## Версия наблюдателей на причале

Для того чтобы воспроизвести эксперимент, который только что был проведен в трюме, прибегнем к несколько искусственному приему, который, однако, будет полностью ясен при раз-

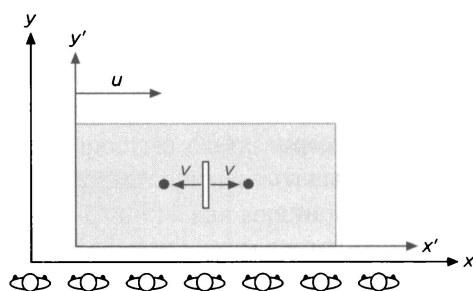


РИС. 6

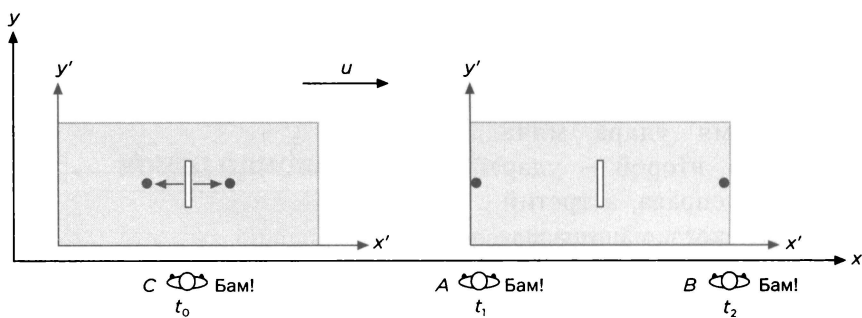


РИС. 7

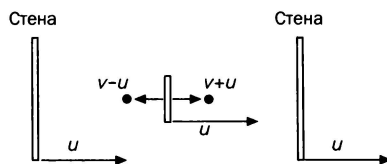


РИС. 8

боре второй, относительной, версии этого опыта. Мы расположим вдоль причала ряд наблюдателей с секундомерами, и каждый будет фиксировать момент события, происходящего точно напротив него (рисунок 6).

Корабль движется вдоль причала со скоростью  $u$ . Пусть  $C$  — наблюдатель, находящийся напротив механизма в момент, когда тот выбрасывает мячи. Время, отмеченное им, будет  $t_0$ .  $A$  и  $B$  — это наблюдатели, фиксирующие момент удара мячей о стены. Они отметят моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  (рисунок 7).

Движение корабля нарушает симметрию между расстояниями, которые пролетает левый мяч ( $i$ ) и правый мяч ( $d$ ). До момента выстрела наблюдатели видят, что выстреливающая машина движется со скоростью  $u$  направо. В определенный момент механизм выстреливает мячи в противоположные стороны, оба двигаются со скоростью  $v$ . Наблюдатели на причале видят, что мяч  $i$  движется налево со скоростью  $v - u$ , а мяч  $d$  движется направо со скоростью  $v + u$ . С их точки зрения мяч  $i$  летит медленнее, а  $d$  — быстрее. Для наблюдателей  $A'$  и  $B'$  они летели одинаково быстро. Повлияет ли эта разница скоростей на время, за которое каждый из мячей долетит до стены? Нет, потому что левая стена будет двигаться навстречу мячу  $i$  со скоростью  $v$ , а правая будет с той же скоростью отдаляться от мяча  $d$  (рисунок 8).

Эти эффекты компенсируют друг друга: медленно летящий мяч преодолевает более короткое расстояние, а быстрый — более длинное. В результате оба долетают каждый до своей стены одновременно. Если наблюдатели  $A$ ,  $B$  и  $C$  соберутся вместе и сравнят свои замеры времени, получится, что разности  $t_2 - t_0$  и  $t_1 - t_0$  равны между собой. События происходят одновременно.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Заменим метательную машину и мячи фонарем с двумя лампочками. При включении он посылает два световых луча (электромагнитное излучение): один направо, другой налево.

### *Версия наблюдателей, находящихся в корабельном трюме*

По сути, эксперимент очень похож на предыдущий, как и его результат: мы снова получаем равенство  $t'_2 - t'_0 = t'_1 - t'_0$ .

### *Версия наблюдателей на причале*

В предыдущем случае, как мы помним, из-за движения корабля мячи двигались по-разному, но в этом случае константа скорости света не позволит возникнуть эффекту компенсации. Наблюдатели, находящиеся на причале, придут к выводу, что лучи света  $i$  и  $d$  одинаково быстры (рисунок 9). Но стены по-прежнему будут вести себя по-разному: одна будет приближаться к лучу  $i$ , а другая — отдаляться от луча  $d$ . Поэтому луч  $i$  придет к цели раньше, чем луч  $d$  (рисунок 10). События встречи луча света со стеной в системе отсчета  $G$  не одновременны!

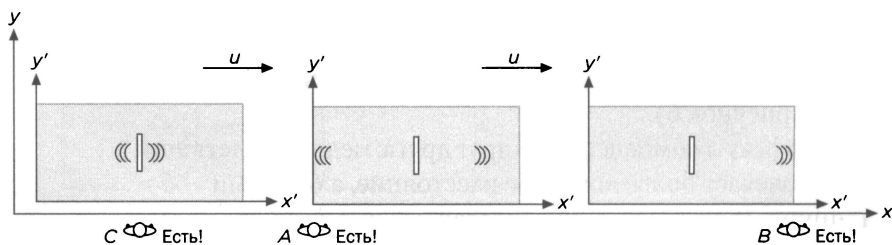


РИС. 9

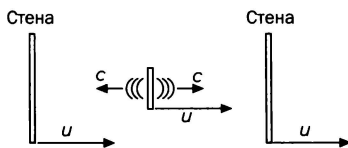


РИС. 10

## О СЖАТИИ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ

Продолжим изучать следствия того факта, что скорость света постоянна, в рамках интересующего нас принципа относительности. Допустим, что два наблюдателя,  $G$  и  $D$ , присутствуют при одних и тех же событиях, но видят их с разных точек. Мы попросим их сделать один дистанционный замер.

### МЕХАНИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Два наблюдателя,  $A'$  и  $B'$ , располагаются в углах корабельного трюма, глядя в направлении положительного луча оси  $y'$ . На левой стене закреплен автоматический метатель, который выстреливает мяч со скоростью  $v$ . Физический феномен (в этом случае механический), который мы здесь рассмотрим, заключается в метании и остановке мяча, и этим методом мы воспользуемся для того, чтобы измерить трюм корабля. Его длина будет равна дистанции, которую пролетит мяч с момента выстрела до момента своей остановки о противоположную (правую) стену трюма.

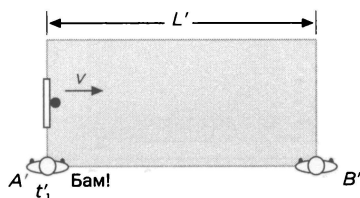


РИС. 11

*Версия наблюдателей, находящихся в корабельном трюме*

$A'$  и  $B'$  считают, что находятся в состоянии покоя.  $A'$  засекает на своем хронометре время выстрела мяча ( $t'_1$ ) (рисунок 11). Когда мяч ударяется о стену,  $B'$  отмечает момент времени на своем секундомере ( $t'_2$ ) (рисунок 12).

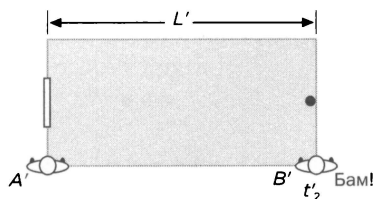


РИС. 12

Зная скорость  $v$  и время  $t'_2$  и  $t'_1$ , в системе отсчета  $D$  можно сделать вывод о расстоянии, пройденном мячом, умножив скорость на период времени. В этом случае:

$$L' = v \cdot (t'_2 - t'_1).$$

### *Версия наблюдателей на причале*

Нам снова понадобится целый ряд наблюдателей, стоящих вдоль причала, — каждый с хронометром. Пусть  $A$  — наблюдатель, который находится напротив метательной машины в момент выстрела. Он отметит на своем хронометре момент вылета мяча из машины ( $t_1$ ) (рисунок 13).  $B$  — тот, кто будет находиться напротив мяча, когда тот ударится о стену. В момент удара он отметит время  $t_2$  (рисунок 14).

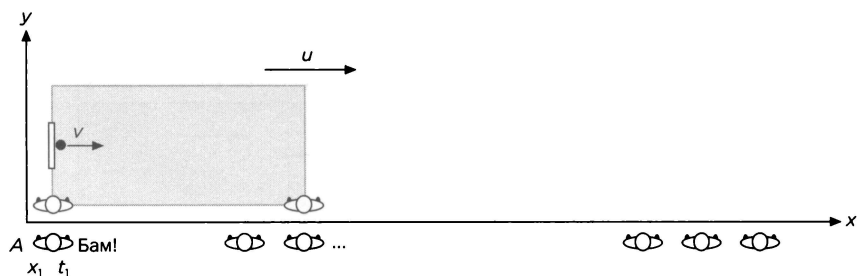


РИС. 13

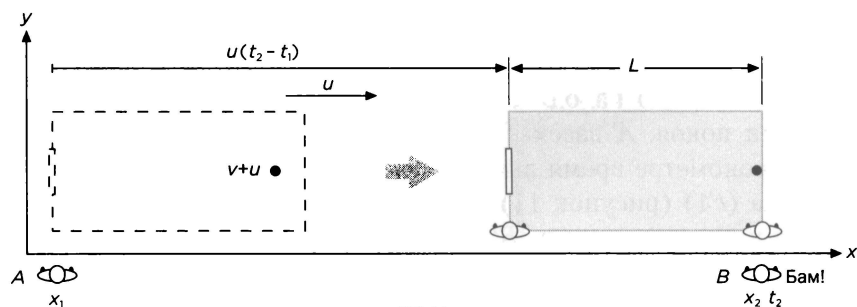


РИС. 14



Наблюдатели считают, что скорость мяча внутри метательной машины уже равна скорости движения корабля  $u$ . После выстрела правая стена смещается, отдаляясь от мяча со скоростью  $u$ , потому мяч должен пройти бóльшую дистанцию. Поэтому несмотря на то, что наблюдатели системы  $G$  отметят то же время, что и наблюдатели системы  $D$ , пройденное расстояние и скорость мяча для них будут разными:

$$L + \underbrace{u \cdot (t_2 - t_1)}.$$

Расстояние, на которое отодвигается правая стена в то время, пока мяч находится в воздухе.

Если мы отвлечемся от существования корабля и будем заниматься только мячом, то увидим, что со скоростью  $v + u$  он за период времени  $t_2 - t_1$  пролетит расстояние

$$(v + u) \cdot (t_2 - t_1).$$

Обе величины должны быть равны между собой:

$$L + u \cdot (t_2 - t_1) = (v + u) \cdot (t_2 - t_1).$$

Получим знакомое уравнение для вычисления длины трюма:

$$L = v \cdot (t_2 - t_1).$$

Можно сделать вывод о том, что с точки зрения наблюдателей на причале мяч должен пройти большее расстояние, поскольку стена от него отдаляется, но при этом он летит с большей скоростью, так как к его скорости прибавляется скорость корабля, поэтому оба эффекта компенсируют друг друга.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Заменим метательную машину фонарем, а мяч — лучом света (и опять мы имеем дело с электромагнитным излучением).

Единственный элемент, общий для систем  $G$  и  $D$ , — величина скорости света. Все хронометры, участвующие в эксперименте, произведены на одной фабрике, но только два из них в одной и той же системе отсчета показывают одно и то же время. Для того чтобы перевести пространственные или временные координаты из одной системы в другую, необходимо прибегнуть к преобразованиям Лоренца.

### *Версия наблюдателей, находящихся в трюме корабля*

Как и в механическом эксперименте,  $A'$  отмечает тот момент, когда световой луч выходит из фонаря, а  $B'$  — момент, когда луч достигает противоположной стены (рисунок 15). Для них:

$$L' = c \cdot (t'_2 - t'_1).$$

### *Версия наблюдателей на причале*

С причала наблюдатели видят, как отдаляется правая стена, световой луч при этом по-прежнему движется со скоростью  $c$  (рисунок 16). Они замечают, что прежде чем достичь стены, луч преодолел не только длину трюма, но и дистанцию, пройденную кораблем в период времени между  $t_1$  и  $t_2$  (рисунок 17):

$$L + u \cdot (t_2 - t_1).$$

С другой стороны, если оставить корабль в стороне, за временной интервал  $(t_2 - t_1)$  свет проходит расстояние:

$$c \cdot (t_2 - t_1) = x_2 - x_1.$$

Приравняв выражения друг к другу:

$$L + u \cdot (t_2 - t_1) = c \cdot (t_2 - t_1) = x_2 - x_1$$

и применив формулу преобразований Лоренца, мы получаем поразительный результат:

$$L = \beta \cdot L', \quad \text{где} \quad \beta = \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}.$$

Поскольку скорость корабля меньше скорости света ( $u < c$ ), то фактор  $\beta$  меньше 1, а значение  $L$  меньше, чем  $L'$ . То есть для наблюдателей в системе  $G$  трюм корабля в длину меньше, чем для наблюдателей в системе  $D$ . Это и есть так называемое Лоренцево сжатие.

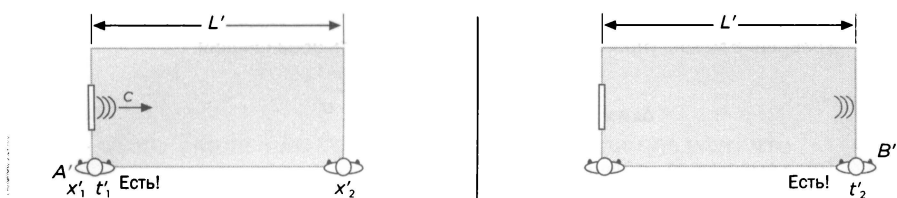


РИС. 15

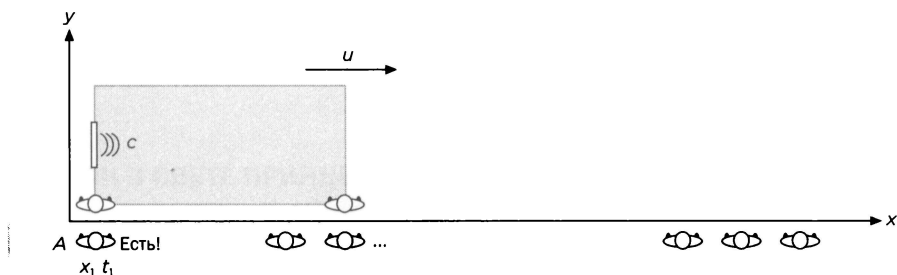


РИС. 16

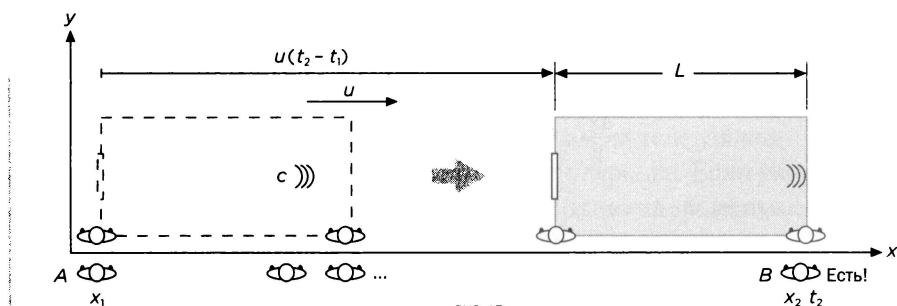


РИС. 17

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ВЫРАЖЕНИЕ СЖАТИЯ ЛОРЕНЦА

Ниже мы показываем, как преобразования Лоренца применяются в расчете сжатия. У нас есть два математических выражения того расстояния, которое проходит свет:

$$L + u \cdot (t_2 - t_1),$$

$$c \cdot (t_2 - t_1) = x_2 - x_1.$$

Приравняем их:

$$L + u \cdot (t_2 - t_1) = c \cdot (t_2 - t_1) = x_2 - x_1 \quad L = x_2 - x_1 - u \cdot (t_2 - t_1).$$

Уравнение можно упростить, если немного изменить обозначения:

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad \Delta t = t_2 - t_1 \quad \beta = \sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}.$$

Тогда выражение, найденное для  $L$ , сокращается до:

$$L = \Delta x - u \cdot \Delta t.$$

Поскольку теперь мы допускаем, что часы могут идти по-разному в зависимости от системы, для перевода координат системы  $G$  в систему  $D$  нам будет нужно использовать преобразования Лоренца:

$$\Delta x = \frac{\Delta x' + u \cdot \Delta t'}{\beta},$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t' + u \cdot \frac{\Delta x'}{c^2}}{\beta}.$$

Если мы введем эти выражения в формулу  $L$ , то получим:

$$L = \frac{\Delta x' + u \cdot \Delta t'}{\beta} - u \cdot \frac{\Delta t' + u \cdot \frac{\Delta x'}{c^2}}{\beta} = \frac{1}{\beta} \cdot \left[ \cancel{\Delta x' + u \cdot \Delta t'} - \cancel{u \cdot \Delta t'} - \Delta x' \cdot \frac{u^2}{c^2} \right] =$$

$$= \frac{\Delta x'}{\beta} \cdot \left( 1 - \frac{u^2}{c^2} \right) = \frac{\Delta x'}{\beta} \cdot \beta^2 = \Delta x' \cdot \beta.$$

А если учесть, что  $\Delta x' = x_2' - x_1' = L'$ ,

$$L = \beta \cdot L'.$$

Представим себе другую ситуацию. В ней наблюдатели из разных инерциальных систем присутствуют при одних и тех же явлениях, их задача — фиксировать интервал времени. В своей статье «К электродинамике движущихся тел» Эйнштейн прибегает к более простому примеру. Имея две системы,  $G$  и  $D$ , последняя из которых двигалась относительно  $G$  с равномерной скоростью  $u$ , он разместил часы ровно в центре системы отсчета  $D$  и спросил себя: «Как быстро идут эти часы для наблюдателя из неподвижной системы отсчета?»

После применения формулы преобразования Лоренца был получен следующий ответ:

$$t' = t - (1 - \beta) \cdot t.$$

Из этого Эйнштейн сделал вывод: «...откуда следует, что показание часов (наблюдаемое из покоящейся системы) отстает в секунду на  $1 - \beta$  секунды». Потому для наблюдателя, находящегося в покоящейся системе отсчета, время движущейся системы течет медленнее, чем его собственной.

## НЬЮТОН В СВЕТЕ ПРИНЦИПА ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

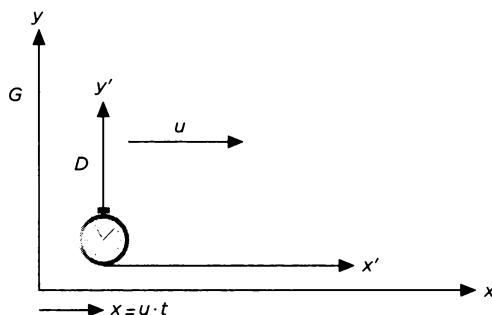
Благодаря преобразованиям Лоренца уравнения Максвелла сохраняются в любой инерциальной системе, но что приключается со старыми формулами ньютоновской динамики? После изменения координат с ними случается то же, что раньше происходило с уравнениями Максвелла в преобразовании Галилея: появляются не имеющие физического смысла элементы. Что же получается, из огня да в полымя? Но нет, на самом деле уравнения Ньютона тоже нуждаются в легкой корректировке. Если уж мы решили принять постулаты теории относительности, то нужно применять их ко всем законам физики, и динамика не исключение.

Масса также становится величиной, которая, как и длина, зависит от относительной скорости той системы, откуда она

измеряется, и растет с ускорением. Если эту переменную ввести в уравнение силы, будет заложена база для релятивистской динамики, формулы которой не изменяются в преобразованиях Лоренца. При низких скоростях они имеют вид, в котором их сформулировал Ньютон, — что и следовало ожидать.

### ЧУТЬ БОЛЬШЕ ДЕТАЛЕЙ

Для того чтобы высчитать запаздывание хронометра в движущейся системе, Эйнштейн смоделировал следующую ситуацию:



и использовал формулу Лоренца, выведенную для временной характеристики:

$$t' = \frac{1}{\beta} \cdot \left( t - x \cdot \frac{u}{c^2} \right).$$

Для системы G положение хронометра ( $x$ ) — то есть центр координат системы  $D$  — движется направо с постоянной скоростью, отсюда:  $x = u \cdot t$ . Для  $t'$  получим:

$$t' = \frac{1}{\beta} \cdot \left( t - u \cdot t \cdot \frac{u}{c^2} \right) = \frac{t}{\beta} \cdot \left( 1 - \frac{u^2}{c^2} \right) = \frac{t}{\beta} \cdot \beta^2 = t \cdot \beta.$$

Или, в другом виде:  $t' = t \cdot \beta + t - t = t - (1 - \beta) \cdot t$ .

## ВСЕ НА СВЕТЕ ОТНОСИТЕЛЬНО?

Здесь самое время остановиться и задаться вопросом: действительно ли в реальности имеют место такие явления, как Лоренцево сжатие и замедление времени? Эйнштейн, скорее всего, услышав этот вопрос, улыбнулся и спросил бы нас, что мы имеем в виду под реальностью. Наблюдая одно и то же явление с разных точек зрения, разные наблюдатели сделают разные выводы о расстоянии, одновременности и временных интервалах, и потому все эти понятия не абсолютны. Но их нельзя назвать случайными, так как мы можем рассчитать значения и предсказать результаты, к которым придут наблюдатели из других систем. Сжатие и замедление реальны в том смысле, что если бы скорость света была равна, к примеру, 100 км/час, то мы бы видели, как пассажиры автомобиля, движущегося со скоростью 90 км/час, сплющиваются подобно рисунку на мехах закрывающегося аккордеона. Но атомы, из которых состоит машина и пассажиры, не сжимаются в буквальном смысле. Размеры людей в машине не меняются. Для них действует обратный эффект принципа относительности: они видят сплюснутые дома на улицах и прохожих, идущих словно в замедленной съемке.

Наши представления о пространстве и о времени связаны с нашим движением или покоем, и мы не можем экстраполировать их на весь остальной мир. Когда транспортное средство останавливается, магия исчезает. Пассажиры и пешеходы видят одни те же дистанции и одинаковое течение времени.

Последнее утверждение, правда, не совсем верно: и для того, чтобы набрать скорость, и для того, чтобы ее сбросить, необходимо ускорение — незванный гость в специальной теории относительности. И когда этот гость выходит на сцену, необходимо расширить территорию игры до границ общей теории относительности, где нас поджидают новые сюрпризы, и среди них эффект замедления времени даже после остановки движущейся системы. Если мы отправимся в космос на корабле, способном развивать скорости, близкие к скорости света, то по возвращении будем чуть моложе нашего брата-близнеца,

который, прощаясь, махал нам платочком с космодрома. Ускорение нарушает симметрию между инерциальными системами отсчета.

Преобразования Лоренца и нарушение одновременности выглядят для нас весьма странно. Когда наука исследует вещи в масштабах, отличающихся от привычных, с расстояниями столь малыми, что разум не может их себе представить (как в квантовой механике и теории струн), или столь великими, что они включают в себя всю Вселенную (общая теория относительности), мы больше не можем опираться на здравый смысл, сформированный в привычной среде с ограниченным спектром физических феноменов. Мы можем занять позицию практиков и выяснить, нет ли в теориях противоречий и подтверждены ли теоретические выкладки экспериментально. И если выводы кажутся невероятными, виной тому не физика, а наш ограниченный опыт.

В мире Ньютона и Галилея каждое событие мгновенно отзывается во всем пространстве, и поэтому понятие одновременности имеет смысл. В мире относительности такая степень согласованности невозможна. Мы можем отвечать только за наши собственные измерения и общаться с остальным миром, посылая ему зондирующие сигналы — например, в виде световых лучей. Опираясь на полученные таким образом сведения, мы построим нашу версию происходящего. Не существует прибора, с помощью которого мы могли бы увидеть, что же происходит на самом деле.

## НЕУЛОВИМЫЙ ЛУЧ

Закончив статью «К электродинамике движущихся тел», Эйнштейн смог, наконец, ответить на вопрос, который пришел ему в голову еще в 16 лет: что будет, если догнать луч света? Сейчас ответ всем известен: догнать луч света не может никто и ничто. Но почему же превысить скорость света или хотя бы достичь ее невозможно?



Тысячи птиц летают в небе, по улицам бегают дети, ветер несет обрывки бумаги и листья. Скорости вокруг нас постоянно меняются, и вопрос напрашивается сам собой: в чем же причина того, что существует верхняя граница, заданная светом? Может же пилот «Формулы-1» нажать на педаль газа и менее чем за 2 секунды от полной неподвижности развить скорость 100 км/час. Однако при переходе на следующий уровень что-то меняется, и космический корабль не может разогнаться бесконечно. Откуда берется это ограничение, преодолеть которое не может ни одно тело во Вселенной?

Одно из следствий формулы  $F = m \cdot a$  заключается в том, что если применить силу к некоторому телу, то оно приобретет тем большее ускорение, чем меньше его масса, и наоборот. Наш опыт подтверждает это правило без необходимости прибегать к математическим расчетам. Для того чтобы сдвинуть настольную лампу, необходимо гораздо меньшее приложение силы, чем для того, чтобы привести в движение грузовик. Таким образом, массу можно объяснить как способ сопротивления тел при изменении их скорости. С увеличением скорости масса растет. При низких скоростях этот эффект практически незаметен: идущий человек увеличивает свою массу в 0,000000000000000001 раза.

По мере того как растет скорость, растет и сопротивление изменению скорости. При приближении к скорости света масса становится почти бесконечно огромной, как и ее сопротивление ускорению. Поэтому Эйнштейн заключил: «Скорости, превышающие скорость света, невозможны».

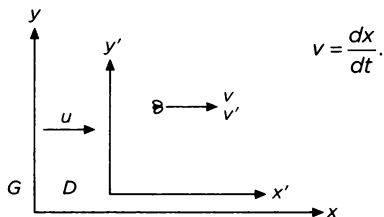
В действительности принцип относительности не так категоричен. Несмотря на то что ни одно тело не сравнится по скорости со светом, можно допустить существование и более быстрых частиц — при условии, что они никогда не замедляются так, чтобы двигаться медленнее света. Скорость света — это та граница, которую нельзя нарушить ни с какой стороны: ни со стороны более низких скоростей, ни со стороны более высоких. Поскольку время при приближении к скорости света течет все медленнее и медленнее, переступив этот порог, мы должны были бы путешествовать в прошлое. Теоретически

## КОГДА ЦЕЛОЕ НЕ РАВНЯЕТСЯ СУММЕ ЧАСТЕЙ

Если шкалы времени и пространства в мире теории относительности искажаются, то любая величина, которую мы создадим с опорой на них, также будет нести в себе искажение. Например, снова скорость. Предположим, что из системы отсчета  $D$ , движущейся со скоростью  $u$ , видна муха, летящая по прямой, параллельной горизонту. Для того чтобы узнать, с какой скоростью она летит, нам нужны ее координаты по оси  $x'$  и время  $t'$ , измеренное в системе  $D$ :

$$v' = \frac{dx'}{dt'}.$$

Но в системе  $G$  скорость мухи рассчитывается с помощью других координат времени и пространства:  $x$  и  $t$ .



Преобразования Лоренца позволяют нам связать обе скорости, с которой муха преодолевает пространство в растущий промежуток времени:

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{v' \cdot u}{c^2}}.$$

Поразмыслив над этим уравнением, мы поймем, что оно означает невозможность достичь скорости света. Наш здравый смысл восстает против этого заявления и предлагает следующее: а если мы представим себе корабль, перемещающийся со скоростью, равной одной второй скорости света ( $c/2$ ), а на его палубе находится пулемет, производящий выстрелы со скоростью, также равной одной второй скорости света ( $c/2$ )? Это значит, что с причала — по крайней мере теоретически — мы должны увидеть пулю, рассекающую воздух со скоростью  $c$ . Но Эйнштейн говорит нам о совсем другом результате опыта:

$$v = \frac{\left(\frac{c}{2}\right) + \left(\frac{c}{2}\right)}{1 + \frac{\left(\frac{c}{2}\right) \cdot \left(\frac{c}{2}\right)}{c^2}} = \frac{c}{1 + \frac{1}{4}} = \frac{4}{5} \cdot c.$$

В относительной арифметике сумма одной второй и одной второй равняется четырем пятым.

существование сверхсветовых частиц поражает, но на практике оно несет огромное количество головоломок, вероятные нарушения случайности и возможность посылать сообщения в прошлое.

## **САМАЯ ИЗВЕСТНАЯ ФОРМУЛА ВСЕХ ВРЕМЕН: $E = mc^2$**

В сентябре 1905 года, три месяца спустя после отправки статьи «К электродинамике движущихся тел» в журнал «Анналы физики», Эйнштейн написал работу для приложения к тому же журналу. Новая статья отвечала на вопрос, вынесенный в заглавие: «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?» Вопрос был риторическим, а ответ принял форму уравнения  $E = mc^2$ .

Эйнштейн вывел это уравнение исходя из весьма специфической ситуации: наличия тела, испускающего электромагнитное излучение, и двух систем отсчета. В первой тело находилось в состоянии покоя, а вторая двигалась относительно него с постоянной скоростью. Он определил, что энергетические потери при излучении сопровождались также потерей массы  $m = E/c^2$ . Свои выводы ученый возвел в ранг универсального принципа.

Если тело отдает энергию  $L$  в виде излучения, то его масса уменьшается на  $L/V^2$ . Очевидно, что масса, взятая у тела, прямо переходит в энергию излучения, так что мы приходим к более общему выводу. Масса тела есть мера содержащейся в нем энергии; если энергия изменяется на величину  $L$ , то масса меняется соответственно на величину  $L/(9 \cdot 10^{20})$ , причем здесь энергия измеряется в эргах, а масса — в граммах. Не исключена возможность того, что теорию удастся проверить для веществ, энергия которых меняется в большей степени (например, для солей радия). Если теория соответствует фактам, то излучение переносит инерцию между излучающими и поглощающими телами.

Эта формула впечатляет, но описываемые ею явления могут остаться для нас незамеченными. К примеру, излучая свет, лампочка в 11 Вт теряет каждую секунду 0,00000000000000012 кг.

Коэффициент зависимости между массой и энергией кажется сильно преувеличенным:  $c^2$ . Если говорить об общем потреблении энергии в развитой стране с 40 миллионами жителей — примерно 140 миллионов тонн в нефтяном эквиваленте (ТНЭ, или toe — tonnes of oil equivalent), получится:

$$1 \text{ toe} = 4,2 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

И если  $E = mc^2$ , то:

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{140 \cdot 10^6 \cdot 4,2 \cdot 10^{10}}{9 \cdot 10^{16}} = 65,3 \text{ кг.}$$

Иначе говоря, если перевести нашу массу в энергию, ее будет достаточно, чтобы обеспечить целую страну на год.

## ЦЕНА ПОДВИГА

После выхода в свет в 1905 году пяти знаменитых статей приключения Эйнштейна, достойные пера Диккенса, подошли к концу, и начался его триумф. Хотя успех пришел не сразу. Вначале работы ученого не находили ни малейшего отклика — словно были напечатаны невидимой краской, и это приводило Эйнштейна в отчаяние. Он ожидал «резкое сопротивление и самую суровую критику», однако напрасно искал ее в вышедших позднее номерах «Анналов». Наконец, в 1906 году из Берлина пришло письмо от Макса Планка, крупнейшего немецкого физика, в котором тот высказывал свои соображения и задавал вопросы по поводу работ Эйнштейна о теории относительности. После этого судьба Эйнштейна навсегда изменилась.

## ВСЕ ЕСТЬ ДВИЖЕНИЕ

Однажды Эйнштейн написал своему сыну Эдуарду: «Жить — это как ездить на велосипеде. Если не хочешь упасть, надо двигаться». Нечто похожее происходит и с материей. Когда тело испускает излучение, оно становится легче. И наоборот, поглощая излучение — тяжелеет. Кинетическая энергия, связанная с движением, также производит собственную массу. Свет, например, обладает массой лишь в движении и невесом в покое. Наше тело состоит из молекул, а молекулы — из атомов. Внутри атома масса сосредотачивается прежде всего в ядре, где находятся сформированные из кварков нейтроны и протоны. Названия удерживающей их вместе силы (сильное взаимодействие) и ответственной за это соединение частицы (глюон, от английского *glue* — «клей») говорят сами за себя: разделить нейтроны и протоны крайне сложно. Сильное взаимодействие — это самая могущественная сила в природе, которую нельзя представлять как ньютоновское мгновенное притяжение. Это постоянный взаимный обмен глюонами, которые непрерывно рождаются и умирают, перенося с собой силу. Все это движение маленьких посыльных силы, появляющихся и исчезающих, превращается в массу. Мы можем утверждать, что более 90 % нашей массы — не что иное, как движение составляющих нас частиц.

Однако, как этого требуют законы жанра, за свою победу герой должен был заплатить огромную цену. В глазах научного сообщества Эйнштейн стал самым знаменитым ученым эпохи, достойным наследником Ньютона и Галилея, хотя отец всегда считал его просто талантливым юношей, который, вступив в неравный брак, обрек себя на невзрачное будущее.

Осенью 1902 года сердце Германа Эйнштейна остановилось навсегда. В последние годы жизни он стал банкротом. После того как предприятие братьев разорилось в очередной раз, Якоб принял предложение одной итальянской фирмы занять в ней пост инженера. Однако образование Германа не позволяло ему так же легко изменить жизнь, и он все больше запутывался в паутине коммерческих авантюр. Не слушая предупреждений и уговоров сына, Герман открыл новую фабрику в Милане.

В те годы старший и младший Эйнштейны вели неравную борьбу со всем миром. Письмо, адресованное по собственной инициативе Германом Эйнштейном химику Вильгельму Оствальду, свидетельствует о трогательной заботе, с которой отец относился к сыну. В письме он приносил извинения за причиняемое беспокойство, рассказывал о полученном Альбертом образовании и его способностях, а затем описывал ситуацию, в которой тот находился:

« [...] безуспешно он пытался добиться должности ассистента кафедры, которая позволила бы ему продолжить свои занятия теоретической и экспериментальной физикой. [...] Посему мой сын, оставшись без должности, чувствует себя глубоко несчастным, и с каждым днем его состояние все ухудшается, так как он понимает, что больше не находится на своей орбите. Кроме того, его подавляет мысль, что он представляет собой лишний груз для нас, его родителей, людей небогатых».

Герман просил Оствальда, чтобы тот прочел первую статью Эйнштейна «Следствия теории капиллярности», опубликованную в 1901 году в «Анналах физики»: « [...] и если бы Вы нашли возможным написать ему несколько слов ободрения, чтобы он снова мог почувствовать радость от жизни и работы». Насколько нам известно, Оствальд на письмо не ответил. В октябре, через пару месяцев после начала работы в бюро патентов, Эйнштейн проделал обратный путь в Италию по самому длинному в Европе Готардскому железнодорожному туннелю, чтобы проститься с отцом. Перед смертью Герман сделал единственное, что было в его силах, чтобы облегчить тяжкую ношу сына, и благословил его брак с Милевой.

## Складки пространственно-временного континуума

Академический мир покорился гению Эйнштейна. Еще будучи преподавателем в Цюрихе, ученый поставил перед собой задачу ввести в релятивистскую картину мира гравитацию. В 1915 году, находясь очень близко к цели, он обнаружил, что математик Давид Гильберт может создать единую теорию поля, или «теорию всего», раньше него. И Эйнштейн вступил в соревнование с Гильбертом, проявив при этом необыкновенную интеллектуальную продуктивность.





Статьи Эйнштейна, опубликованные в 1905 году, не вызвали взрыва в научном сообществе, но приняты были достаточно тепло. Первым их понял Планк, а последней, как этого и стоило ожидать, отреагировала университетская администрация. Отношения Эйнштейна с ней основывались на взаимных уступках, которых ученый упорно добивался, несмотря на нежелание второй стороны идти навстречу. Самый низкий ранг в немецком академическом мире соответствовал месту приват-доцента, без жалованья, но с возможностью вести занятия, получая скромное вознаграждение от студентов. Эйнштейн посчитал, что его заслуги позволяют ему претендовать на это место, и в 1907 году подал соответствующую заявку. Однако администрация Бернского университета проявила невероятную придирчивость. Среди обязательных условий фигурировало представление неопубликованной научной статьи. К тому времени Эйнштейн написал 17 статей, как минимум две из них впоследствии стали научной классикой. Однако все эти статьи уже были опубликованы. Ученый совет мог освободить его от этой формальности, признав за ним особые научные достижения. Однако Пауль Грюнер, профессор теоретической физики, считал теорию относительности «очень проблематичной», а профессор экспериментальной физики Айме Форстер не был столь деликатным и заметил по поводу статьи Эйнштейна

«К электродинамике движущихся тел»: «Не могу понять ни слова из того, что вы написали». Преподаватели университета утверждали, что относительность «была отвергнута, так или иначе, большинством современных физиков». В результате Эйнштейн посчитал этот эпизод «забавным» и отказался от своего намерения занять место приват-доцента.

**Каждый, кто по-настоящему понимает эту теорию, не может не быть ею очарован.**

**АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН ОБ ОБЩЕЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

Через год, подавив гордость, Эйнштейн вновь попытал удачи в Бернском университете. В начале 1908 года он представил администрации статью «Влияние закона распределения энергии в излучении черного тела на состав излучения». Эта работа не произвела переворота в физике, но в глазах администрации она обладала несомненным достоинством: статья еще не была опубликована и, к тому же, не касалась щекотливой темы относительности. Университет принял заявку Эйнштейна в феврале, а в весеннем семестре 1908 года ученый поднялся на университетскую кафедру как преподаватель. Аудитория на его лекциях о молекулярной теории тепла, которые проходили в семь утра по вторникам и субботам, редко включала в себя больше, чем три человека. Среди слушателей непременно присутствовал Мишель Бессо. Иногда, чтобы поддержать Эйнштейна, приходила Майя, его сестра, которая в это время писала в Берне диссертацию по романским языкам. При такой посещаемости Эйнштейну не оставалось ничего другого, кроме как продолжать работу в патентном бюро.

В мае следующего года, после долгих переговоров, ученый был назначен доцентом Цюрихского университета. Вначале это место предложили его товарищу по Политехнической школе, Фридриху Адлеру, однако тот весьма изящно отказался от должности: «Если у нашего университета есть возможность добиться такого человека, как Эйнштейн, было бы абсурдом назначить на это место меня». Эйнштейн занял должность,

однако вскоре встал вопрос о его педагогических способностях. Основную критику вызывали монологи ученого на занятиях, однако тот, выслушав замечание, ответил: «Преподавателей хватает и без меня». Через некоторое время, в феврале 1909 года, Физическое общество Цюриха устроило Эйнштейну экзамен по дидактике, и ученый сдал его с трудом. Опасения у университетского комитета вызывала и национальность доцента. «В академической среде евреям не без оснований присваивают всевозможные неприятные свойства характера, такие как нескромность и дерзость. К тому же они относятся к академической работе с сознанием мелочных лавочников», — отмечалось в отчете комитета. Прения были непростыми, но в результате администрация сочла, что проявлять антисемитизм — ниже ее достоинства.

Однако вполне достойным университет посчитал предложить ученому оклад меньший, чем в бюро патентов. Эйнштейн отверг эти условия и потребовал увеличения годового жалованья до 4500 франков, которые он получал в Берне. Получив наконец долгожданный пост доцента, физик на поздравления коллег отвечал колкостями.

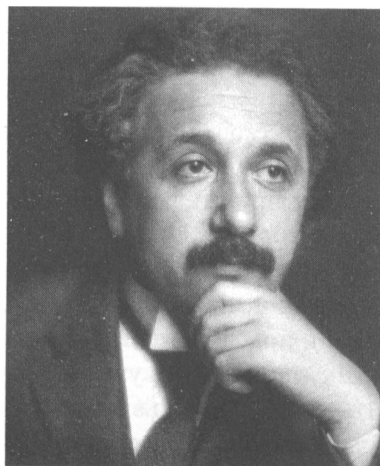
В июле 1909 года Эйнштейну была присвоена степень почетного доктора (*honoris causa*) Женевского университета, а в октябре он впервые представил свою кандидатуру на Нобелевскую премию. Карьера ученого, с трудом сдвинувшись с мертвой точки, начала стремительно развиваться. Он работал в Университете Карла-Фердинанда в Праге, своей альма-матер (апрель 1911 года), затем снова в Цюрихе (в августе 1912-го), и, наконец, в 1914 году ему предложили место без преподавательских обязанностей в Берлине и членство в Прусской академии наук.

Каждый переезд означал продвижение в обществе и большую финансовую стабильность для четы Эйнштейнов. Однако именно в этот период благосостояния брак Альберта и Милевы пошел трещинами. Цюрих стал городом, где состоялись все три акта драмы — завязка, кульминация и развязка. Здесь Эйнштейны полюбили друг друга, здесь их брак пережил первый кризис в 1909 году, когда был зачат их второй сын, Эду-

ард, в Цюрихе исчезла и последняя возможность спасти отношения. Когда Эйнштейн принял предложение о работе в Берлине, провал в его личной жизни стал очевидным.

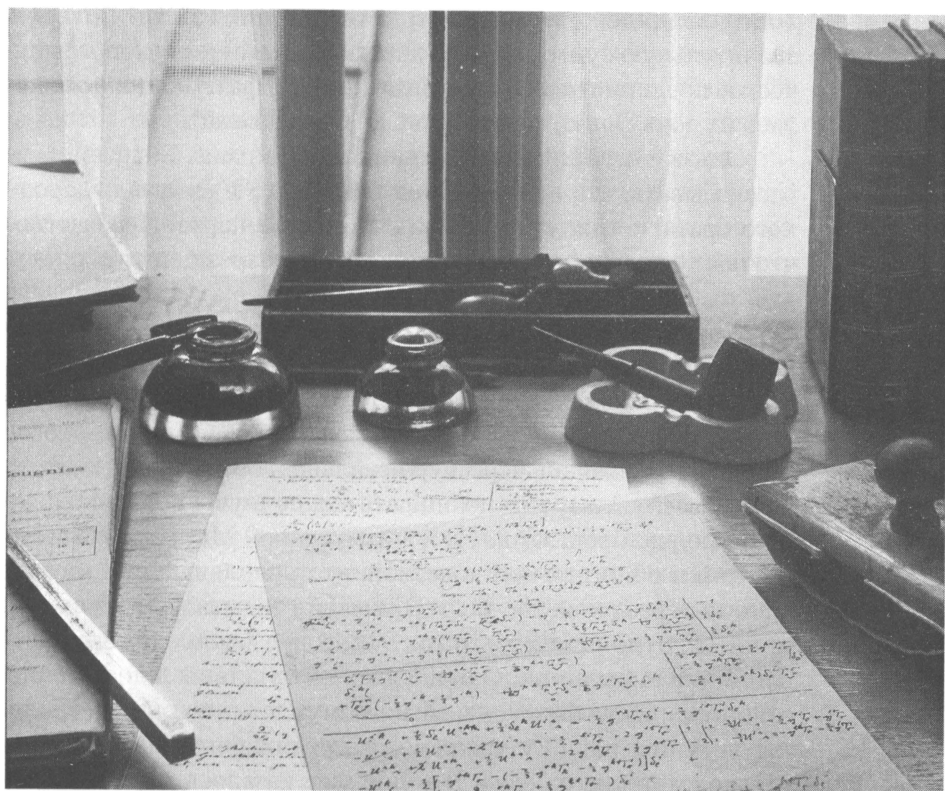
Милева отличалась импульсивным и сложным характером и была склонна к депрессиям, с ней было нелегко. Студенческий период в их отношениях был наполнен светом, но золотые годы постепенно уходили. В свое время она и Альберт мечтали о совместных занятиях наукой, однако преждевременная беременность Милевы не позволила осуществиться этим планам и оборвала многие надежды. В самые тяжелые моменты в Берне супруги вместе противостояли враждебному миру. Милева тонко выразила это в игре слов: «Вместе мы были как камень» (по-немецки *ein Stein* — «камень»). И хотя амбиции самого Эйнштейна были реализованы, о его жене того же сказать нельзя. «Мне бы хотелось побывать там, послушать немного и посмотреть на всех этих замечательных людей», — писала Милева Альберту, когда тот отправился на научную конференцию в Карлсруэ, а она осталась дома, в Праге. Один из биографов Эйнштейна, который был женат на дочери его второй жены, рассказывал, что Милева всегда стремилась участвовать в научных занятиях своего мужа, однако «он оставлял ее дома с детьми». После десяти лет совместной жизни, в 1912 году, оба чувствовали недовольство своим браком. Милева с каждым днем ощущала себя все более одинокой и непонятой, в то время как Эйнштейн ее просто избегал. Она упрекала его за частые отлучки: «Мы так давно не виделись, что я не уверена, что ты меня узнаешь». В письмах к своей подруге Элен Савич Милева открыто делилась своей тоской: «Он неустанно работает над своими задачами; можно сказать, что он и живет ради этого. Мне стыдно, но я должна тебе признаться, что мы для него на втором месте и ничего не значим».

Действительно, Эйнштейн предпочитал избегать привязанностей. В эссе «Мир, каким я его вижу», написанном с высоты его 50 лет, ученый говорил:



ФОТОГРАФИИ СЛЕВА:  
Альберт Эйнштейн  
в 1911 году и его  
кузина Эльза,  
ставшая  
впоследствии  
второй женой  
ученого.

ФОТОГРАФИЯ ВНИЗУ:  
Письменный стол  
Эйнштейна  
в патентном бюро  
в Берне — работа,  
которую он  
совмещал  
с преподаванием  
в Бернском  
университете.



«Чувство справедливости и социальной ответственности развито во мне очень сильно, но странным образом уживается с тем, что я совершенно не испытываю потребности в прямых контактах с другими представителями рода человеческого или их объединениями. Я всегда был сам по себе, никогда всем сердцем не принадлежал своей стране, своему дому, своим друзьям, даже своей семье».

Хотя наука и отнимала у Эйнштейна много времени, он все же не забывает и о личной жизни, правда, сменив объект своего внимания. В пасхальные каникулы 1912 года ученый отправился в Берлин, чтобы навестить мать. Паулина в это время находилась в гостях у своей сестры Фанни, муж которой, Рудольф, принадлежал к другой ветви Эйнштейнов. Его отец приходился дядей Герману, и, кстати, он также потерял значительную сумму, вложив деньги в семейное электротехническое предприятие. Этажом выше Рудольфа и Фанни поселилась их дочь Эльза, которая только что развелась.

Эльза и Альберт познакомились в Мюнхене. Ей нравилось рассказывать, что в детстве она влюбилась в своего двоюродного брата, когда тот играл на скрипке Моцарта. Неизвестно, что послужило в этот раз причиной для возрождения детского чувства, но, так или иначе, это произошло.

Хотя мы и не знаем деталей их встречи, известно, что по возвращении в Прагу Эйнштейн начал тайком флиртовать с Эльзой в письмах. В конечном счете он признавал, что не был таким уж одиночкой: «Я нуждаюсь в том, чтобы любить кого-нибудь, иначе жизнь чересчур печальна. И этот кто-то — Вы». Точнее всего Эльзу можно описать как полную противоположность молчаливой, замкнутой и измученной Милевы: она была веселой и общительной кокеткой, не проявлявшей ни малейшего интереса к науке. Если Эйнштейн задыхался в своих семейных отношениях, то в Эльзе не было ничего, что напоминало бы о них. Однако ученый чувствовал достаточно ответственности перед семьей, поэтому сделал шаг назад: «Если мы уступим нашему взаимному притяжению, мы вызовем только смятение и беду». В конце мая, казалось, он решил ре-

зять по живому: «« [...] Я пишу Вам в последний раз и покоряюсь неизбежному [...]». Однако в этом «последнем» письме Эйнштейн сообщает Эльзе о смене адреса. Перерыв в переписке длился год.

В марте 1913 года Эльза прервала молчание, поздравив Альберта с его тридцать четвертым днем рождения. Он ответил, и переписка возобновилась с новой силой.

Жизнь с Милевой продолжала рушиться. Они спали в раздельных комнатах, и Эйнштейн довел до совершенства искусство отсутствовать, прикрываясь своими профессиональными обязанностями. А в марте 1914 года семья переехала в Берлин, и теперь Эйнштейну ничто не мешало наслаждаться, как он писал своему другу Бессо, «бесконечно прекрасными и приятными отношениями» со своей кузиной. Создается впечатление, что Альберт не собирался расставаться с Милевой. «Мы прекрасно можем быть счастливы вместе, — объяснял он Эльзе, — без того, чтобы причинять ей боль». Возможно, Эйнштейн надеялся обойтись без жертв: сохранить отношения с женой, чтобы не ранить ее, не чувствовать себя виноватым, не расставаться со своими детьми, и в то же время окунуться с Эльзой в прекрасный мир чувств. Однако он напрасно считал, что его кузина готова довольствоваться ролью одной из вершин треугольника. Эльза не раз давала понять Эйнштейну, что развод нельзя откладывать бесконечно.

В итоге разразился неизбежный кризис, и Милева вместе с Гансом Альбертом и Эдуардом ранним утром в конце июля села на поезд в Цюрих. Поначалу казалось, что все еще можно вернуть. Друзья семьи попытались деликатно примирить супругов, и не исключено, что при других обстоятельствах это было бы возможно. Однако в это время Австро-Венгрия вторглась в Сербию, и вспыхнула Первая мировая война. Граница закрылась. Эйнштейн и Эльза оказались с одной ее стороны, в Берлине, а Милева с детьми — с другой, в Цюрихе.

Хотя Эйнштейн и находил утешение в новой любви, разлука с детьми его терзала. Два года спустя в письме к подруге своей жены он так рассказывал о случившемся:

«Для меня расставание с Мицей [Милевой] было вопросом жизни и смерти. Наша совместная жизнь стала невозможной, даже гнетущей, но я не смогу объяснить почему. Так что я разлучился с моими детьми, которых так люблю. За те два года, что мы живем порознь, я видел их два раза. Прошлой весной мы совершили с Альбертом небольшое путешествие. С глубокой печалью я осознал, что мои сыновья не понимают моих поступков, что они испытывают ко мне молчаливую неприязнь, и пришел к выводу, что, хотя мне и больно, но для них будет лучше не видаться с отцом».

В эти непростые годы Эйнштейн напряженно размышлял о гравитации и квантовой механике, оправдывая свое кредо: «Пока я могу работать, я не должен и не буду жаловаться. Работа — это единственное, что наполняет мою жизнь смыслом». В 1915 году для ученого начался один из периодов максимального умственного напряжения. К тому моменту вокруг него было открыто три фронта: Первая мировая война, развод с Милевой и, наконец, его соперничество с математиками из Гёттингена в том, кто раньше завершит геометрическую теорию гравитации.

## **ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ГРАВИТАЦИИ И УСКОРЕНИЯ**

На тернистом пути к общей теории относительности в течение восьми лет, сквозь все тени сомнений, Эйнштейна вела путеводная звезда, которая загорелась в ноябре 1907 года. Позднее он называл ее самой удачной идеей в своей жизни. Согласно анекдоту, все произошло из-за маляра, который упал с лесов. Когда Эйнштейн поинтересовался его самочувствием, тот рассказал, что во время падения был очень краткий миг, когда он будто бы парил в воздухе. Годами спустя ученый вспоминал: «Человек в свободном падении не почувствует собственного веса. Я вздрогнул. Эта простая идея оставила во мне глубокий след и подтолкнула к теории гравитации».

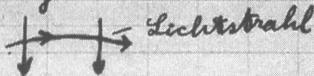


Zürich. 14. I. 13.

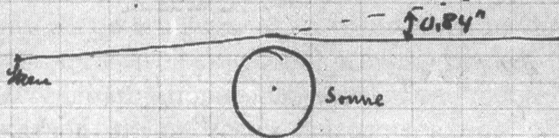
Aus

Hoch geehrter Herr Kollege!

Eine einfache theoretische Überlegung macht die Annahme plausibel, dass Lichtstrahlen in einem Gravitationsfeld eine Deviation erfahren.



Am Sonnenrande müsste diese Ablenkung  $0,84''$  betragen und wie  $\frac{1}{R}$  abnehmen (für Entfernung vom Sonnen-Mittelpunkt) ( $R = \text{Sonnenradius}$ ).



Es wäre deshalb von grösstem Interesse, bis zu wie grossen Sonnen-nähe <sup>helle</sup> Fixsterne bei Anwendung der stärksten Vergrösserungen bei Tage (ohne Sonnenfinsternis) gesehen werden können.

В этом письме американскому астроному Джорджу Эллери Хейлу в октябре 1913 года Эйнштейн объясняет возможность того, что «световые лучи отклоняются в гравитационном поле», и предполагает, что, в случае солнечной массы и очень близко от звезды, это отклонение достигает  $0,84''$  и уменьшается пропорционально  $1/R$ , где  $R$  — расстояние между лучом и центром Солнца. Эта идея представляет собой зачаток эксперимента, который в 1919 году доказал общую теорию относительности.

Так появился новый эпизод, позволивший человечеству исследовать природу гравитации. Сначала Галилей бросал с вершины Пизанской башни деревянные и свинцовые шары. Потом пришла очередь Ньютона и его яблока, и, наконец, появился Эйнштейн и несчастный случай с маляром.

В школе нас учат, что гравитация — это сила, которая поддерживает нас на земле, и что космонавты вдалеке от таких больших тел, как Земля, свободно парят во тьме космоса. Тем не менее мы все в некотором смысле космонавты. Если бы волшебным образом у нас под ногами разверзлась пропасть, то мы испытали бы то же свободное падение, что и парашютист, прыгнувший с самолета. Ни Земля, ни взаимное притяжение никуда бы не делись, однако исчезло бы наше ощущение веса. Когда падает чашка кофе, она разбивается на осколки. Если бы мы уронили ее в тот самый момент, когда под нашими ногами разверзлась бездна, чашка сопровождала бы нас в падении, летя рядом.

Человек, находящийся в замкнутом пространстве, не может сказать, парит ли он в вакууме космической капсулы или просто падает. Если он достанет из кармана бумажник и поместит его на уровне глаз, то увидит, что тот останется висеть в воздухе.

Впрочем, необязательно прибегать к уловкам вроде пропасти под ногами или человека, заключенного в замкнутом пространстве. Во время прыжка, сразу после достижения максимальной высоты, мы наслаждаемся кратким мигом свободного падения. Дети упиваются ощущением невесомости, которое они испытывают во время прыжков на батуте. Для тренировки космонавтов в НАСА используется тот же самый феномен: чтобы обеспечить 20 секунд невесомости, реактивный самолет КС-135 взлетает и падает с высоты, словно на воздушных горках. Однако преодоление гравитации имеет и побочные эффекты, недаром пассажиры КС-135 дали ему другое название — тошнолет<sup>1</sup>, и это подтверждает, что наш желудок — лучший детектор ускорений.

---

<sup>1</sup> Англ. *Vomit Comet*.

Эйнштейн обнаружил иллюзорность, заключенную в таком, казалось бы, основополагающем явлении, как гравитация. Двойственность гравитации и ускорения распространяется на любую массу. Находясь в кабине лифта при изменении его скорости каждый из нас может почувствовать себя легче или тяжелее. Возвращаясь к экспериментам Галилея, представим себе, что мы заключили Доменика в подобие корабельного трюма, без единого люка. Трюм, в свою очередь, находится в огромном космическом лифте, не имеющем никакой массы. Если лифт поднимается с ускорением, дающим Доменику ощущение его собственной массы, то он не сможет определить, на Земле он находится или в космосе.

Удачная идея Эйнштейна напоминает фокус иллюзиониста: с помощью ускорения возможно симитировать как рост гравитации, так и ее исчезновение. Эту своеобразную связь он назвал *принципом эквивалентности*. Начиная с 1905 года важнейшей задачей, стоявшей перед ученым, было расширение специальной теории относительности, которая рассматривала исключительно тела,двигающиеся с постоянной скоростью. Совершенная физическая теория обязательно должна учитывать ускорение, а Эйнштейн хотел ввести в нее и понятие гравитации. Закон всеобщего тяготения функционировал на основе математического механизма, который после релятивистского переворота устарел. Знаменитое уравнение Ньютона

$$F = G \frac{M_T m}{r^2}$$

имело две проблемы.

Если мы присмотримся к нему, то обратим внимание на то, что в знаменателе находится  $r$ , расстояние между массами. Однако Эйнштейн знал, что, согласно сокращению Лоренца, два наблюдателя, один из которых находится в движении, а другой в покое, воспринимают расстояние по-разному. Как тогда учитывать эту величину в уравнении? С другой стороны, в этой

формуле отсутствует время, то есть действие силы считается моментальным. Однако если  $t$  отдаляется от  $t'$ , силы начинают действовать по-другому, и это нарушает основную заповедь релятивизма, согласно которой ничто не может двигаться быстрее света. Обнаружив эквивалентность гравитации и ускорения, Эйнштейн понял, что может одновременно решить две задачи: если ему удастся ввести ускорение в теорию относительности, гравитация также автоматически войдет в нее.

### ПРИЛИВНЫЕ СИЛЫ

Изучив вопрос глубже, Эйнштейн понял, что человек, находящийся в замкнутом пространстве, все-таки может определить, парит ли он в невесомости. Попробуем это доказать. Допустим, что человек вынет все из карманов: бумажник, носовой платок, ключи, мобильный телефон — и разместит эти предметы вокруг себя. Бумажник будет парить у него над головой, платок — справа, ключи — слева, а телефон — под ногами. Итак, что будет происходить с этим человеком во время свободного падения на Землю и при парении в космическом вакууме?

#### 1) Во время свободного падения.

Сначала обратимся к Ньютону: сила, с которой Земля притягивает другое массивное тело, обратно пропорциональна разделяющему их расстоянию в квадрате:

$$F = G \frac{M_T m}{r^2},$$

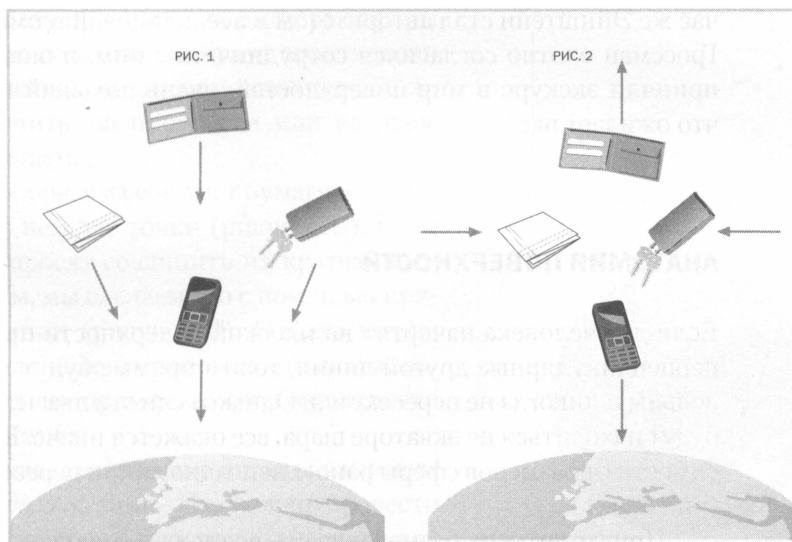
где  $G$  — гравитационная постоянная, равная  $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$ ,  $M$  — масса Земли,  $m$  — любая другая масса,  $r$  — расстояние.

Бумажник находится немного дальше от Земли, чем человек, поэтому притягивается меньше. В свою очередь, мобильный телефон находится ближе и испытывает большее притяжение. А что случится с носовым платком и ключами? Так как притяжение направлено к центру массы, линии, соединяющие эти предметы с центром Земли, не будут параллельны. Следовательно, через несколько секунд бумажник, как и телефон, тоже будет стремиться вниз, а носовой платок и ключи приблизятся к нему с двух сторон (рисунок 1). Иногда, чтобы описать это отклонение, говорят о приливных силах, поскольку эта же сила притяжения вызывает на Земле приливы и отливы.

За короткое время и не имея всей информации, человек не сможет понять, находится он в свободном падении или парит при нулевой гравитации. Похожие ощущения возникают даже при обычном прыжке: в самой высокой точке траектории невозможно отличить падение от невесомости, и на этой двойственности основан принцип эквивалентности. Но если немного подождать, то рано или поздно в невесомости возникнет отклонение. Вспомним геометрию: на небольших расстояниях

## 2) В космосе.

Для того чтобы предметы вели себя описанным образом, необходима близость Земли, и в этом случае герою нашего эксперимента лучше заранее подготовиться к болезненному приземлению (рисунок 2).



мы не можем понять, круглая Земля или плоская, но при значительной дистанции мы замечаем, как прямая линия отклоняется, обнаруживая закругление Земли. И в этой аналогии — ключ к введению гравитации в релятивистскую теорию.

Когда слепой жук ползет по поверхности шара, он не замечает, что пройденный им путь искривлен, мне же посчастливилось заметить это.

**Ответ Эйнштейна на вопрос его сына Эдуарда о том, почему он так знаменит**

Летом 1912 года, сразу после возвращения в Прагу из Цюриха, Эйнштейн обратился к своему другу Марселю Гроссману с просьбой: «Ты должен помочь мне или я сойду с ума». В студенческие годы Гроссман частенько одалживал будущему ученому конспекты, когда тот пропускал занятия, а впоследствии спас его от нищеты, предложив место в патентном бюро. Сейчас же Эйнштейн стал авторитетом в неевклидовой геометрии. Гроссман охотно согласился сотрудничать с ним, и они предприняли экскурс в мир поверхностей, очень похожий на тот, что ожидает нас.

## **АНАТОМИЯ ПОВЕРХНОСТИ**

Если два человека начертят на плоской поверхности прямые, перпендикулярные другой линии, то эти прямые будут параллельны и никогда не пересекутся. Однако если эти два человека будут находиться на экваторе шара, все окажется иначе. В зависимости от размеров сферы рано или поздно линии пересекутся (рисунок 1).

При гигантских размерах шара, возможно, довольно долго никто не догадается, что его поверхность не плоская. Сегод-

ня, когда мы имеем возможность взглянуть на Землю из космоса, ее сферическая форма кажется чем-то само собой разумеющимся. Однако чтобы прийти к этому открытию, человечество потратило тысячи лет. Вероятно, в первый раз о том, что Земля не плоская, задумались моряки, которые в длительных плаваниях ориентировались по звездам. Эксперимент с параллельными прямыми — это дедуктивный способ, который помогает человеку, находящемуся на поверхности Земли, понять, круглая она или плоская. Достаточно довольно долго вести линию перпендикулярно экватору. Через некоторое время линии сблизятся — обнаружится закругление. А что произойдет, если у нас не будет времени на то, чтобы нарисовать достаточно длинные прямые? Ведь при больших размерах сферы два коротких отрезка будут практически параллельны, и с их помощью невозможно оценить, на плоскости или на шаре мы обитаем.

Вообразим себе лист бумаги и поставим на нем две точки (рисунок 2). Если нас попросят соединить их кратчайшим образом, мы сделаем это с помощью прямой линии (рисунок 3). Однако точки, поставленные на поверхности шара, соединяет не прямая, а дуга окружности (рисунок 4).

Такие кратчайшие линии называются *геодезическими*. Их можно провести на любой поверхности, даже имеющей довольно сложную геометрию, правда,

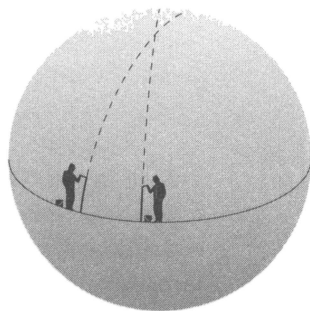


РИС. 1

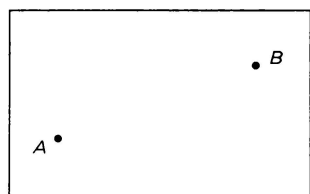


РИС. 2

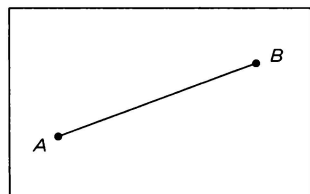


РИС. 3

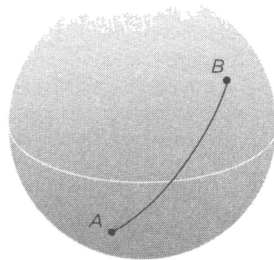


РИС. 4

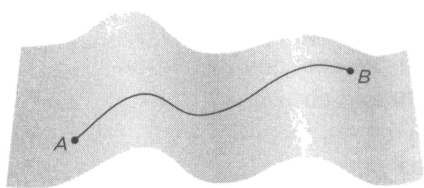


РИС. 5

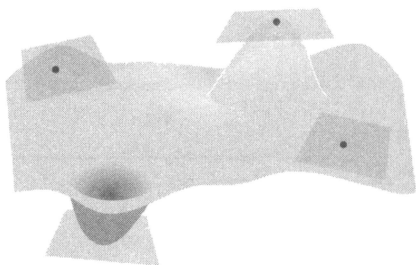


РИС. 6

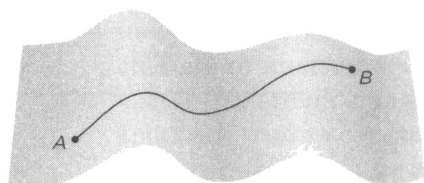


РИС. 7

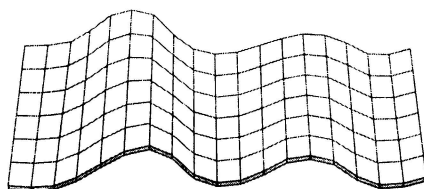


РИС. 8

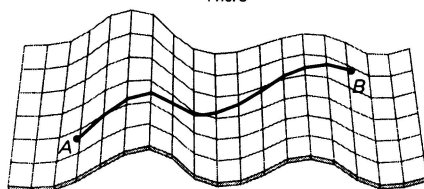


РИС. 9

и форма геодезических линий тоже изменится (рисунок 5).

К любой точке даже самой сложной поверхности мы всегда можем приблизиться с помощью *касательной плоскости* (рисунок 6).

Повторив операцию со множеством точек, мы обнаружим, что замостили поверхность плоскостями на каждом достаточно гладком участке. Если рельеф особенно неровный, поверхность превратится в мозаику из маленьких плоских участков.

Возьмем поверхность, на которой отмечены две точки и соединяющая их геодезическая линия, и попытаемся замостить ее плоскими участками (рисунки 7 и 8). Мы увидим, что поверхность со сложным рельефом распадается на плоские плитки, а геодезическая линия превращается в последовательность прямых линий (рисунок 9). Для обитателя поверхности, который ориентируется только в рамках одной такой плоской плитки, мир будет плоским, а геодезические линии — прямыми. Заключенный в ограниченном пространстве, он не знает, на ровной поверхности он живет или нет. Но по мере того как будут расширяться его знания о мире, прямые линии вокруг



него начнут искривляться и превращаться в более сложные геодезические. Эта ситуация напоминает неопределенность, которую можно испытать в свободном падении: понять, падаешь ты или паришь, можно лишь по прошествии достаточного количества времени. Эйнштейн предположил, что в этих двух случаях речь идет об одном и том же.

Летом 1912 года он пришел к выводу, что теория поверхностей, созданная математиком Карлом Фридрихом Гауссом, «содержала ключ к разгадке» для введения гравитационного взаимодействия в релятивистскую теорию. Это открытие побудило его как можно скорее углубиться в математические изыскания, а Гроссман помог ему овладеть необходимыми ин-

### ЛИЧНАЯ ЖИЗНЬ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Карл Фридрих Гаусс (1777–1855) по масштабу своего мышления может сравниться разве что с Ньютоном или Архимедом. Некоторые из самых значительных его открытий, такие как неевклидова геометрия и алгебра комплексных чисел, не были

опубликованы, чтобы избежать научных споров. Гаусс мог себе это позволить: напечатанной части его работ было достаточно, чтобы произвести переворот в математике. Риман обобщил идеи Гаусса в дифференциальной геометрии. В 1854 году он прочитал лекцию на эту тему, завершив выступление словами: «Это приводит нас в сферу другой науки, физики, куда сегодня мы не можем углубиться». Риман остановился на границе, которую осмелился пересечь только Альберт Эйнштейн, родившийся четверть века спустя. Однако познать тайну строения космоса ему помогли разработанные Риманом математические инструменты.



струментами для переложения физической интуиции на формальный язык дифференциальной геометрии.

До начала XIX века и публикации работы Гаусса *«Общие исследования о кривых поверхностях»* двумерные пространства рассматривались с трехмерной перспективы, словно со стороны. Заслуга Гаусса состоит в том, что он погрузился в саму поверхность, сталкиваясь, по мере своего продвижения, с различными новыми задачами. Это воображаемое путешествие стало первым шагом в изучении внутренней геометрии поверхностей, которая получила мощный толчок в развитии благодаря одному из учеников Гаусса, Бернхарду Риману (1826–1866).

Когда речь идет о плоскости, кажется разумным экстраполировать свойства небольшого участка на другие, близкие ему. Однообразие плоскости подразумевает, что все ее участки идентичны. Однако в более сложной среде каждая неровность становится новой точкой отсчета. Мы различаем возвышения и углубления, и особенности одного участка плоскости нельзя приписать другому ее участку. Следовательно, чтобы изобразить внутреннюю структуру поверхности, мы должны составить карту всей ее площади.

Для того чтобы это сделать, Гаусс обратил внимание на то, что произойдет, если мы возьмем любую точку на поверхности и немного продвинемся от нее в случайном направлении. Если мы находимся на плоской поверхности, такой, например, как пол в доме, то в каком бы направлении мы ни двигались, пройденный путь будет равен расстоянию до точки. Но на изогнутой поверхности все оказывается сложнее. Двинувшись направо, мы, возможно, спустимся вниз, а повернув налево, можем обнаружить крутой подъем.

В качестве примера рассмотрим положение двух людей на рисунке со следующей страницы. Оба двигаются от точки  $A$  к точке  $B$ , расположенной неподалеку. Первый человек идет по прямой линии на плоском участке, а второй движется в углублении. Чтобы дойти от  $A$  до  $B$ , второй человек должен пройти больше, чем первый, из-за геометрической кривизны участка (рисунок 10). И для каждого из них расстояние от  $A$  до  $B$  будет разным.

Гаусс ввел новую математическую функцию, *метрику* (она обозначается буквой  $g$ ), которая показывает расстояние до точки поверхности в зависимости от того, в каком направлении мы движемся. Как вы уже понимаете, на неровной поверхности эта информация от точки к точке меняется.

Метрику можно считать руководством по устройству поверхности, поскольку она содержит все интересующие нас данные. Когда рассматриваешь пространство из более высокого измерения, его неровности становятся заметны невооруженным взглядом, а метрическая функция позволяет нам оценить их, находясь непосредственно на поверхности.

Геометрические свойства поверхности должны быть независимы от системы координат, выбранной для ее описания, — так же, как в новостях, на какой бы язык мы их ни перевели, речь должна идти об одном и том же. Расстояние между двумя точками — это информация, которая не меняется с «переводом», то есть с изменением координат. Точки 1 и 2 находятся на разных расстояниях от точек  $A$  и  $B$ , но расстояние между ними сами не меняется, то есть, на язы-

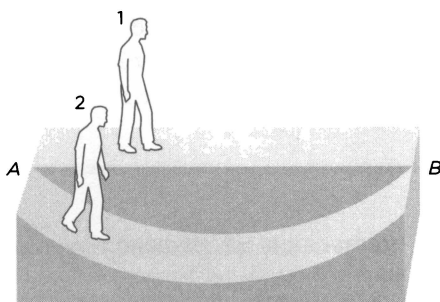


РИС. 10

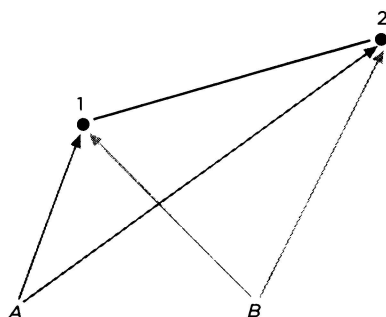


РИС. 11

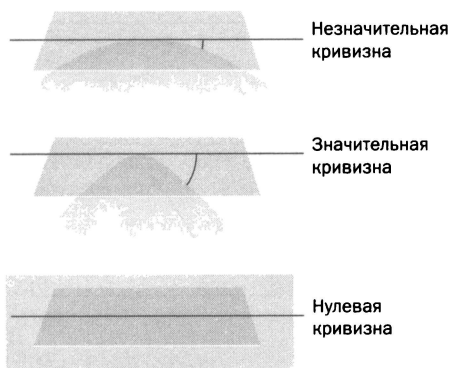


РИС. 12

ке алгебры, расстояние является инвариантом (рисунок 11). С помощью метрической функции возможно определить расстояние между любыми двумя точками на поверхности. Также она позволяет построить другие инварианты, например кри-

## ПОСТРОЕНИЕ МЕТРИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ

Чтобы построить метрическую функцию, Гаусс начал с расстояния между любыми двумя ближайшими точками на поверхности, координаты которых различались бы ничтожно мало. Самое элементарное понятие расстояния можно получить из теоремы Пифагора (рисунок 1). Чтобы указать, что мы можем произвольно уменьшить расстояние между точками  $(x_1; y_1)$  и  $(x_2; y_2)$ , изменим обозначение  $\Delta x$  (измеряемая величина) на  $dx$  (дифференциальная величина) (рисунок 2). Это обозначение пере-

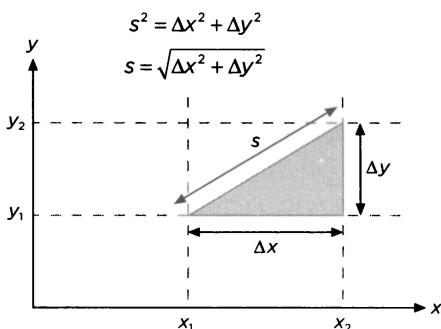


РИС. 1

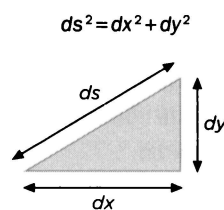


РИС. 2

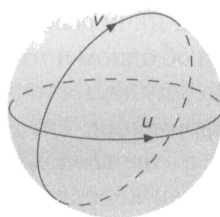
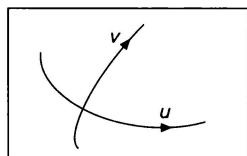


РИС. 3

визну, то есть величину, выражающую, насколько отклоняется поверхность от евклидовой плоскости (рисунок 12).

Инварианты отражают объективные свойства пространства и не зависят от точки зрения, выбранной для описания

стает работать, когда координаты больше не указывают на две перпендикулярные оси,  $x$  и  $y$ , либо если мы находимся на искривленной поверхности, например на поверхности шара (рисунок 3).

Чтобы расширить рамки теории, Гаусс работал с более общими координатами,  $u$  и  $v$ , и установил, что квадрат расстояния между двумя точками, разделенными бесконечно малым расстоянием  $(u, v)$  и  $(u + du, v + dv)$  определяется по формуле:

$$ds^2 = E(u,v) du^2 + 2 F(u,v) du dv + G(u,v) dv^2,$$

где  $E, F$  и  $G$  — функции координат.

Чтобы измерить длину, достаточно сложить по всей длине кривой все бесконечно малые расстояния  $ds^2$ , заключенные между двумя ее крайними точками. Немец Бернхард Риман не удовлетворился исследованием поверхностей в двух измерениях и расширил вопрос, поставленный Гауссом, на любое их число. В этом случае

$$ds^2 = \sum_{i,j}^n g_{ij} dx_i dx_j,$$

где  $n$  может быть любым натуральным числом.

Числа  $g$  являются функциями координат. Следовательно, квадрат расстояния между двумя ближайшими точками  $ds^2$  увеличивается и уменьшается по мере того, как мы перемещаемся по поверхности и обнаруживаем ее неровности.

Если сделать формулировку Гаусса более общей, как предложил Риман, получим следующее:

$n = 2$	$x_1 = u$	$x_2 = v$
$g_{12} = g_{21} = F$	$g_{11} = E$	$g_{22} = G.$

Совокупность функций  $g$  (метрик) отражает неровности рельефа. Их можно представить в виде квадратной матрицы из  $n^2$  элементов:

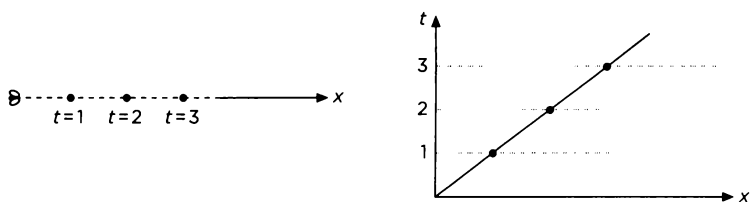
$$\begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \cdots & g_{1n} \\ g_{21} & g_{22} & \cdots & g_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ g_{n1} & g_{n2} & \cdots & g_{nn} \end{pmatrix}.$$

поверхности. Это свойство предлагало вторую аналогию, очень заманчивую для Эйнштейна, который задавался вопросом: возможно ли, что принцип относительности продолжает действовать для систем, которые обладают ускорением одна по отношению к другой? Иными словами, если принцип выполняется в системах с постоянной скоростью, будет ли он выполняться в системах с переменной скоростью? Вспомним, что один из постулатов специальной теории относительности звучит так: «Любое физическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчета». Этот постулат кажется связанным со следующим геометрическим принципом: «Инварианты, такие как расстояние и кривизна, одинаковы в любой системе координат». Этот параллелизм позволил Эйнштейну подойти очень близко к границе физики и геометрии.

## **ОТ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ К ОБЩЕЙ**

Немецкий математик Герман Минковский (1864–1909) подготовил почву для того, чтобы выразить идеи Эйнштейна на языке Гаусса. Он предложил четырехмерное псевдоевклидово пространство в качестве геометрической интерпретации пространства-времени специальной теории относительности. Минковский сделал не лишнее театральности заявление: «Отныне пространство и время по отдельности отступают на второй план, и лишь их единый континуум будет рассматриваться как независимая реальность». Аналогичную операцию он провел и с тремя пространственными координатами — шириной, глубиной и высотой.

Если представить себе муху, перемещающуюся по прямой линии, то логично вообразить ее передвижение с помощью моментальных снимков через определенные интервалы времени. Можно представить насекомое в виде точки, которая скользит по диагонали на двумерной плоскости, где  $t$  и  $x$  — подобные переменные.



Движение тел в пространстве с течением времени представляет собой перемещение по четырехмерной гиперповерхности, на которой каждому событию соответствуют три координаты трехмерного евклидова пространства и четвертая — координата времени. После этого концептуального скачка параллели между свободным падением и невесомостью и между кривой поверхностью и касательной к ней плоскостью перестали быть простыми аналогиями. Геодезические линии и инварианты метрической функции немедленно приобрели физический смысл.

Для математика геодезическая линия статична, это просто линия на бумаге. Однако среди четырех измерений пространства Минковского присутствует время: геодезические линии приобретают динамику, превращаясь в траектории. Временная координата выражает не просто точку в событии, а изменение координат в системе отсчета.

Но возможен и обратный взгляд — на физику со стороны геометрии. Посмотрим на двумерное изображение Луны на ее орбите (рисунок 13).

Если мы сейчас задумаемся, как изобразить положение Луны в зависимости от времени, то интуиция нам подскажет: надо представить, как спутник описывает обороты вокруг нашей планеты. И воспринимая время как одну из пространственных характеристик, мы получим трехмерное геометрическое изображение движения Луны (рисунок 14).

Минковский ввел новое понятие — *собственное время*, обозначив его греческой буквой  $\tau$ . Эта величина соответствует расстоянию не между двумя положениями тела, а между двумя событиями. Каждая совокупность координат включает в себя

Два плоских изображения системы, состоящей из Земли и Луны, где пространство описывается только в двух измерениях. На втором изображении (рисунок 14) добавляется время.

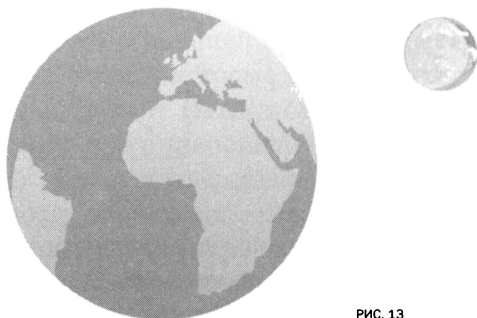


РИС. 13

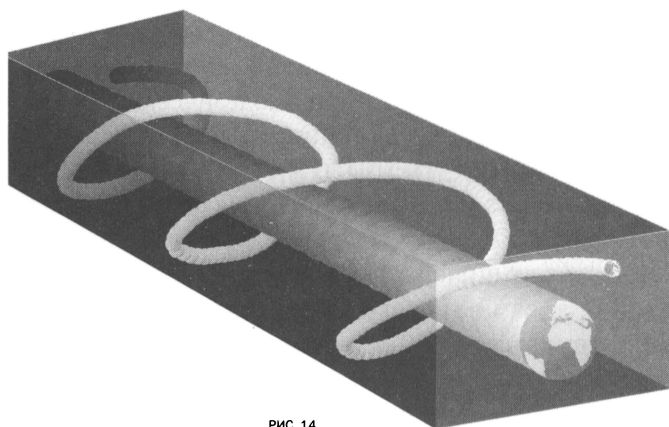


РИС. 14

три пространственных значения и одно временное, определяя, *где и когда* произошло событие.

Перемещаясь из одной точки в другую, мы оставляем четырехмерный след — мировую линию. Нашу жизнь можно рассматривать как траекторию в пространстве Минковского, как последовательность мест и событий, связанных между собой. Мемуары физика Георгия Гамова так и называются — *«Моя мировая линия: неформальная автобиография»*.



В предыдущей главе мы обнаружили, насколько пластично наше восприятие. Стоит только войти в зеркальный лабиринт относительности, перескакивая от одной системы отсчета к другой, как время и расстояние начинают вести себя, словно в декорациях сюрреалистического фильма, — они деформируются, растягиваются и сплющиваются. Движущиеся предметы сжимаются и замедляют ход своих часов. Однако собственное время продолжает быть расстоянием, то есть геометрическим свойством со всеми вытекающими последствиями. Таким

### МЕТРИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ МИНКОВСКОГО

Если в евклидовом пространстве квадрат расстояния между двумя ближайшими точками ( $ds$ ) определяется как  $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$ , то в пространстве Минковского аналогичный ему квадрат интервала равен  $ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$ .

В результате умножения скорости света  $c$  (в международной системе она измеряется в м/с) на  $t$  (в секундах) четвертая переменная обретает ту же размерность, что и три пространственные переменные. Величина  $ds^2$  инвариантна. Измерив ее в двух разных системах координат  $(x, y, z, t)$  и  $(x', y', z', t')$ , мы получим один и тот же результат:

$$\begin{aligned} ds^2 &= dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2 \\ ds'^2 &= dx'^2 + dy'^2 + dz'^2 - c^2 dt'^2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad ds^2 = ds'^2$$

Стремясь соединить две системы координат так, чтобы выполнялось равенство  $ds^2 = ds'^2$ , мы приходим к уравнениям Лоренца. Извлечем метрическую функцию из формулы  $ds^2$ :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c^2 \end{pmatrix}.$$

В этом случае составляющие  $g$  с постоянными значениями образуют плоскость без каких-либо искривлений и неровностей. Ее геодезические линии прямые, но из-за изменения знака временной координаты они соответствуют не кратчайшей дистанции между двумя точками пространства-времени, а наиболее длинной.

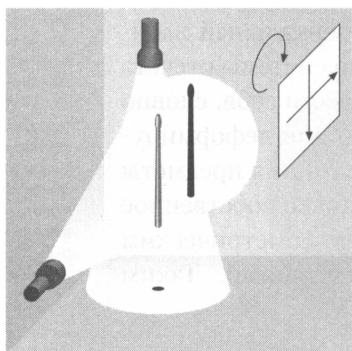


РИС. 15

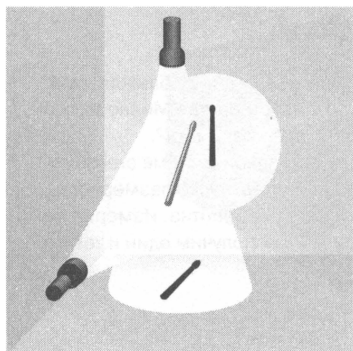


РИС. 16

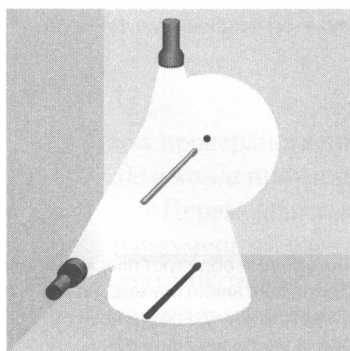


РИС. 17

образом, собственное время — это инвариант, предлагающий во всех системах отсчета, для любого наблюдателя одну и ту же информацию.

Чтобы рассмотреть это подробнее, используем трехмерную параболу. Поставим стержень вертикально около стены и осветим его двумя прожекторами, сверху и сбоку. Тень, отбрасываемая благодаря вертикальному прожектору, будет иметь вид точки на полу, а с помощью бокового прожектора на стену упадет тень от всего стержня (рисунок 15).

Если теперь мы начнем наклонять стержень (в плоскости, определяемой двумя источниками света), то тень на полу будет расти, в то время как тень на стене — уменьшаться (рисунок 16).

Переведя стержень в горизонтальное положение, мы увидим ситуацию, обратную начальной: тень на стене имеет вид точки, в то время как тень на полу равна всей длине стержня (рисунок 17).

Можно сказать, что пол и стена — это двумерные плоскости, обитатели которых могут наблюдать, как стержень укорачивается (в пространстве) и удлиняется (во времени). А мы получили геометрическую интерпретацию сжатия Лоренца и временного расширения. Обитатели наших двумерных поверхностей могли бы обеспокоиться, обнаружив, что длина стержня меняется при движении. Од-

нако они могли бы разработать трехмерную математическую модель и прийти к выводу, что эти изменения иллюзорны. Во время движения стержня меняются исключительно размеры теней, а длина самого стержня в пространстве с большим количеством измерений остается неизменной.

В наших примерах используются как двумерные, так и трехмерные пространства. Между тем пространство Минковского нуждается в еще одном параметре: искривление пространства-времени выражается четырьмя координатами. Соотнося результаты наблюдений двух обитателей, следует учитывать: часть того, что для одного — пространство, для другого — время, и наоборот. Это обстоятельство легко выразить в математическом уравнении или с помощью подобия, но почти невозможно прийти к нему на интуитивном уровне.

Пространство-время Минковского предполагает некоторую аскетичность, так как тела в нем движутся с постоянной скоростью. С четырехмерной перспективы предметы без ускорения изображаются как точки или как прямые линии. С введением гравитации и ускорения прямые искривляются, они ведут себя подобно двум параллельным линиям, проведенным на поверхности сферы. Прямая линия из двумерного мира, огибая шар, превращается в дугу, а прямые траектории из специальной теории относительности превращаются в геодезические кривые с ускорением в мире общей теории относительности.

На искривленной поверхности мы можем описать окрестность точки с помощью касательной плоскости. Этот же способ поможет нам, хотя и на небольших участках, физически описать траекторию тела с ускорением при помощи свободного падения. Приближение будет более или менее точным в зависимости от кривизны пространства (иными словами, в зависимости от ускорения, воздействующего на тело).

Общая теория относительности захватила пространство Минковского и искривила его. Из-за чего это произошло? Из-за присутствия массы. Чем больше материи (или энергии) присутствует в пространстве, тем сильнее оно искривлено. Как сказал американский физик Джон Уилер, «гравитация — это не чуж-

дая физическая сила, действующая в пространстве, а проявление геометрии пространства там, где находится масса».

Теперь мы можем выразить суть общей теории относительности в двух утверждениях.

- Траектория тела в гравитационном поле в четырехмерном пространстве принимает форму геодезической линии.
- Отношение между присутствием массы и формой четырехмерного пространства определяется следующим уравнением:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -8\pi G T_{\mu\nu}.$$

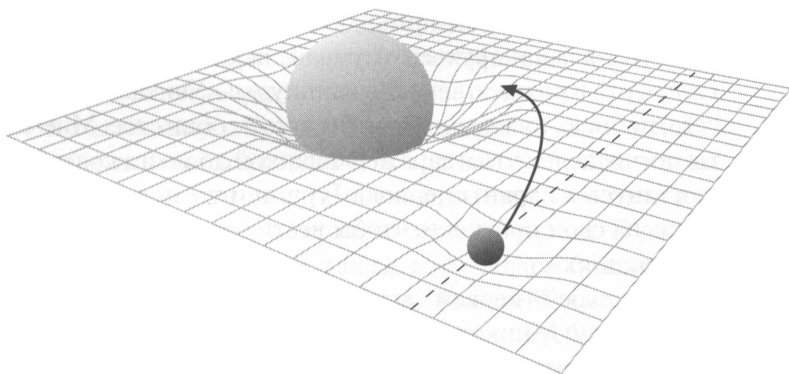
С помощью того же Уилера объясним эту формулу более простым языком: «Пространство говорит материи, как двигаться, а материя говорит пространству, как искривиться». В левой части уравнения мы определим  $g$  из метрической функции  $g_{\mu\nu}$ . Как  $R_{\mu\nu}$ , так и  $R$  — это математические конструкции, формирующиеся на основе  $g$ . Эти инварианты отражают, насколько отклоняется пространство от пространства Минковского, измеряя кривизну в каждой его точке.

Второй член, тензор энергии-импульса ( $T_{\mu\nu}$ ), воплощает материю.

Уравнение Эйнштейна объясняет нам, что в определенной части пространства его кривизна пропорциональна числу (константа  $G$ ) и количеству материи (или энергии), которая в нем содержится. Мы можем представить себе мир с малой плотностью и постоянными скоростями как гладкий лист бумаги, испещренный прямыми линиями, который начинает сморщиваться, когда увеличивается плотность и появляется ускорение, вплоть до излома линий. Это изменение отражает метрика Минковского, константы которой в определенный момент начинают изменяться.

## ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ

Предположим, что несколько человек держат на весу простыню. В ее центр помещают тяжелый шар. Если начать покачивать простыню, на ее поверхности появятся складки и морщины, которые приведут шар в движение. Он будет двигаться по всем возможным траекториям, скатываясь вниз и замедляясь на подъемах. Движение шара будет полностью зависеть от формы, которую принимает поверхность простыни, от ее геометрии. Однако шар играет не только пассивную роль: под его весом и от его движений поверхность простыни также меняется. А если на простыню бросить маленький стеклянный шарик, его траектория будет зависеть не только от движения простыни, но и от перемещений большого шара. Если бы простыня была невидимой, мы могли бы заметить, как таинственная сила, исходящая из центра большого шара, воздействует на стеклянный шарик, словно притягивая его к себе. Нам бы не пришло в голову объяснить кривую, которую вычерчивает стеклянный шарик, деформацией невидимой простыни, геометрия которой зависит от присутствия и движения тел, находящихся на ней. Эту аналогию можно перенести на гравитационные поля, в которых присутствие массы (и, следовательно, энергии) деформирует структуру пространства-времени, ускоряя, замедляя или отклоняя от траектории все тела, участвующие в этом танце.



Присутствие массы позволяет нам в точности воссоздать архитектуру четырехмерного пространства, о котором говорится во втором утверждении, а первое утверждение описывает траектории любого тела, движущегося в этом пространстве.

Уравнение Эйнштейна отражает важное геометрическое свойство. Оно включает инварианты и, следовательно, справедливо для любого наблюдателя. Если расстояние и кривизна пространства не зависят от системы координат, то физические феномены также не обусловлены положением наблюдателя в пространстве — так можно обобщить один из постулатов специальной теории относительности: любое физическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчета. Однако мы можем пойти дальше и сказать: физические законы действуют одинаково во всех системах отсчета, движущихся с ускорением.

## **ФИЗИКИ ПРОТИВ МАТЕМАТИКОВ**

С легкой руки Германа Минковского «вирус» теории относительности захватил Гёттингенский университет. В близкое окружение ученого входил один из самых влиятельных и плодовитых математиков XX века — Давид Гильберт. Минковский потратил годы, чтобы привить ему любовь к физике, прибегая при этом даже к дружескому шантажу в виде отказа посетить Гильберта в рождественские каникулы: «Учитывая обстоятельства, не знаю, нуждаешься ли ты в моем обществе. Мне кажется, ты считаешь, что я заражен физикой до мозга костей. Так что я останусь в карантине, пока Гурвиц и ты не пригласите меня вновь на свои прогулки, чтобы вести беседы о математических абстракциях».

На своей первой лекции по теории относительности, в 1907 году, Минковский так описал разницу между физиками и математиками: «Похоже, что электромагнитная теория света привела к полному перевороту в наших представлениях о пространстве и времени, что должно вызывать особый инте-

рес у математиков. Математики при этом находятся в привилегированном положении, они всегда могут приспособить новые точки зрения к уже известным концепциям. И если они продолжают спокойно двигаться по старой проторенной дороге, то физики должны заново открывать знакомые понятия, прорубая дорогу через непроходимый лес». Минковский, который тоже «прорубал дорогу сквозь непроходимый лес», был очень удивлен догадливостью своего бывшего ученика: «Ох, этот Эйнштейн, вечно пропускавший занятия! Никогда бы не подумал, что он способен на такое!»

Минковский скоропостижно скончался от аппендицита, оставив свою работу незавершенной. Гильберт тяжело переживал его смерть. Он заметно изменил свое отношение к физике и после смерти товарища словно продолжал его мысли: «Рассуждая письменно, физики легко пропускают важные логические ходы [...], в то время как ключ к пониманию физических процессов часто находится у математиков». Или, как говорил Гильберт в неформальной обстановке, «физика становится слишком сложной, чтобы оставить ее физикам».

Сознательно или нет, математик решил осуществить программу своего старого друга. Одним из его основных достижений была аксиоматизация геометрии, а сейчас он собрался провести ту же операцию с физикой. Гильберт провозгласил лозунг: «Мы провели реформу математики, теперь мы должны реформировать физику, а потом придет очередь химии». Именно этим он занимался, встретив Эйнштейна, работавшего в то время над общей теорией относительности.

Почти год прошел с начала Первой мировой войны, которая была еще далека от развязки. В апреле 1915 года немцы впервые применили химическое оружие, распылив хлор около реки Ипр. Окопы накрыл желтовато-зеленый туман. В развитии теории относительности также намечалась битва, хотя и менее кровопролитная. В конце июня Эйнштейн принял приглашение Гильберта и поехал в Гёттинген, чтобы в цикле из шести лекций рассказать об общей теории относительности. Остановился он в доме у Гильберта, и оба светила провели немало оживленных научных бесед.

Ученые произвели друг на друга великолепное впечатление. «К моей большой радости, я полностью преуспел в том, чтобы убедить Гильберта и Кляйна», — поздравлял себя Эйнштейн. Гильберт также не скрывал удовлетворения: «Летом у нас побывали Зоммерфельд, Борн и Эйнштейн. Лекции последнего о теории гравитации стали особым событием».

Эйнштейну, несомненно, удалось соблазнить гёттингенских математиков своим геометрическим подходом к изучению сил тяготения. Ученый при этом не догадывался, что математики, не сговариваясь, посчитали, что он находится на распутье — в той точке, где физика становится слишком сложной, чтобы оставить ее физикам. Великий патриарх гёттингенской школы, Феликс Кляйн, сетовал: «В работе Эйнштейна есть несовершенства, которые не наносят вреда его значительным идеям, но, тем не менее, скрывают их». А Гильберт позволял себе шутки по этому поводу: «Любой гёттингенский юноша понимает в четырехмерной геометрии больше, чем Эйнштейн».

В ноябре карты были раскрыты. Толчком к этому стало признание Эйнштейна в том, что он «потерял всякую веру» в уравнения поля, которые защищал последние три года. Ученый решил вернуться к рассуждениям, которые он оставил в стороне еще в 1912 году как противоречащие ньютоновской физике. Известие, что Гильберт обнаружил ошибки в его работе и начал собственную атаку на уравнения поля, было как снег на голову. Гильберт значительно превосходил Эйнштейна в математических познаниях, и это казалось определяющим фактором для решения задачи. Однако Эйнштейн обладал немислимым чутьем в физике.

Он ускорил работу и погрузился в бездну уравнений, которые без конца исправлял, вымарывал и писал заново, рассматривая все возможные варианты. Ученый отказался практически от любой деятельности, которая могла его отвлечь, он не отличал дня от ночи и иногда даже забывал поесть. Это упорство наконец дало результаты. Туман вокруг математического обоснования теории почти развеялся... 14 ноября в почтовый ящик Эйнштейна положили письмо со штемпелем Гёттингена — от Гильберта. Математик хвастался своим успехом:



«На самом деле до того как предложить аксиоматическое решение твоей исключительной задачи, мне бы хотелось подумать о каком-нибудь его применении, важном для физиков, вроде верного отношения между физическими константами».

Переписка между Гильбертом и Эйнштейном стала настоящим поединком предложений и предупреждений. 18 ноября

### ДАВИД ГИЛЬБЕРТ

Гильберт родился в прусском городе Кёнигсберге в 1862 году. Он сделал блестящую карьеру и с самого начала стал лидером своего поколения математиков. Совместно с Феликсом Кляйном он превратил Гёттингенский университет в один из мировых центров математических исследований. На Международном конгрессе математиков в Париже в 1900 году Гильберт предъявил перечень из 23 задач, решение которых, как он считал, определяло путь развития математики в целом. Несмотря на соперничество Гильберта с Эйнштейном, у них было много общего, и ученые понравились друг другу с первых дней знакомства. Оба отказались подписать декларацию в поддержку немецкой интервенции в Первой мировой войне. У Гильберта, как и у Эйнштейна, был сын-шизофреник, и отношения между ними также были довольно сложными. Роднило этих ученых и стремление к афористичности. Гильберт говорил: «Важность научной работы можно оценить по числу предыдущих публикаций, которые та делает избыточными». Математик дожил до 81 года и в последние годы жизни вынужден был наблюдать, как нацисты уничтожают его математическую школу, которая создавалась в течение 30 лет. Однажды на банкете в 1934 году министр культуры спросил Гильберта, насколько верны слухи о том, что немецкая математика пострадала от национал-социалистических чисток. Ученый ответил: «Пострадала? Математики совершенно не пострадали, господин министр. Их больше просто не существует».



Эйнштейн наконец вышел в свет. Последняя версия его теории объясняла аномальное отклонение прецессии<sup>2</sup> орбиты Меркурия, описанное французским математиком Урбеном Леверье в 1859 году и оставшееся без объяснения в рамках ньютоновской физики. Также теория предсказывала искривление траектории луча света в поле тяготения. Уравнения Эйнштейна сводились к ньютоновским в гравитационных полях малой интенсивности — это открытие на несколько дней привело его в состояние эйфории.

25 ноября 1915 года Эйнштейн представил свою версию уравнений поля Берлинской академии: «Наконец общая теория относительности получила логическую структуру». Пятью днями ранее Гильберт выступил с докладом о своей аксиоматической программе перед Гёттингенской академией наук. Кто победил в этом состязании?

Хотя Гильберт и представил результаты публике первым, в его первоначальной статье, написанной на основе лекции в Гёттингене, нет верных уравнений гравитационного поля. Они появляются только в версии, опубликованной в марте 1916 года. Следовательно, первенство принадлежит Эйнштейну. Если мы оценим результат в соответствии с поставленной задачей, то увидим, что Эйнштейн решил ее, а Гильберт достаточно сильно промахнулся.

Математик практически полностью проигнорировал экспериментальный контекст. Релятивистское прочтение гравитации было одним из аспектов его аксиоматической теории, которая охватывала не только гравитацию, но также электромагнетизм и его взаимодействие с материей. Гильберт считал, что фундаментальные уравнения физики должны быть выведены из функции, которую он назвал мировой, а ее свойства определил в паре аксиом. Его лекция имела название «Основания физики», и речь в ней шла о дисциплине, из которой теперь должна была «возникнуть такая наука, как геометрия».

---

<sup>2</sup> Прецессия — явление, при котором момент импульса тела меняет свое направление в пространстве под действием момента внешней силы. — *Примеч. ред.*

Математик использовал гораздо более сложный аппарат, чем Эйнштейн, и решил некоторые задачи более прямым образом. Однако его стремление унифицировать относительность и электромагнетизм, между делом осмыслив внутриатомные процессы, не увенчалось успехом. Впрочем, Эйнштейн считал, что достижение этой цели потребовало бы сверхчеловеческих усилий.

Возможно, Герман Вейль, ученик Гильберта, сделавший важный вклад в теоретическую физику, как никто другой понял произошедшее: «Такие люди, как Эйнштейн и Нильс Бор, прокладывают себе дорогу на ощупь, в темноте, пока не достигнут своих концепций общей теории относительности или структуры атома. Их опыт и воображение отличаются от тех, которыми обладают математики, хотя математика, несомненно, очень при этом важна».

Эйнштейн крайне ревниво воспринял работу Гильберта, и это заметно в некоторых письмах ученого. Однако Гильберт никоим образом не пытался оспорить его первенства, и 20 декабря 1915 года Эйнштейн написал примирительное письмо.

«Между нами возникла некоторая враждебность, причины которой я не берусь анализировать, — писал ученый. — Я боролся с чувством горечи, которое пробудилось во мне, и победил его полностью. Я снова думаю о тебе с теплотой и очень прошу тебя попытаться сделать то же по отношению ко мне».

По иронии судьбы, после того как Минковский заразил Гильберта своим увлечением физикой, Гильберт, в свою очередь, передал Эйнштейну свои масштабные, практически сверхчеловеческие устремления, и тот посвятил последние десятилетия своей жизни построению теории, объединяющей электромагнитное и гравитационное поля. Это был поиск, обреченный на провал.



## Мировые шкалы отсчета

Возведя сооружение из уравнений теории относительности, Эйнштейн попытался объяснить свое видение мира. Космология — наука, которая до того времени основывалась исключительно на умозрительных предположениях, — благодаря Эйнштейну сделала огромный шаг вперед. Экспериментальное подтверждение отклонения света под действием гравитации принесло ученому мировую известность.



В конце каждого творческого подъема Эйнштейн заболел от нервного истощения. Если после месяцев чрезмерной активности, сопутствующей статьям 1905 года, он провел в постели две недели, то теория относительности стоила ему нескольких лет выздоровления. Состояние ученого ухудшали размышления о войне. С 1917 года он испытывал приступы упадка сил, страдал от желчнокаменной болезни и был вынужден провести в постели много недель. За два месяца Эйнштейн потерял 25 килограммов.

С приходом лета Эльза сняла для него квартирку в том же доме, где жила сама, и незаметно стала для него сиделкой, кухаркой, соседкой и любовницей. Видя ее полную отдачу, Эйнштейн решил вплотную заняться разводом. Уговорить Милеву ему помогло обещание отдать ей Нобелевскую премию — правда, пока еще не полученную. Первой реакцией Милевы был гнев, но спустя несколько недель она уступила, поняв, что брак разрушен окончательно, и даже дети не могут его спасти. Что ей оставалось? Только примириться с неизбежным. Теперь Эйнштейну нужно было преодолеть все бюрократические препоны. «Любопытно, что продлится дольше, — шутил Эйнштейн, — мировая война или наше дело о разводе». Развод занял больше времени.

Милева была, вероятно, самой большой любовью его жизни. В первом браке он искал радостей и для тела, и для души. В письмах к Эльзе чувствуется не только его влюбленность, но и некоторые опасения: «Брак не перестает меня пугать совсем не из-за отсутствия истинной привязанности!» Возможно, Милева была идеальным объектом любви для двадцатилетнего молодого человека, в то время как Эльза — для сорокалетнего. Кузина дарила ученому спокойствие и мир и довольствовалась менее глубокими чувствами. И даже если между ними не было страстной любви, взаимная забота и поддержка были однозначно.

**Мне нравится, что моя нынешняя жена, в отличие от моей первой супруги, ничего не смыслит в науке.**

**Из письма Эйнштейна к его ученице Эстер Саламан**

Эйнштейн постепенно получил признание в мировом научном сообществе. Ученый жаловался: «Чтобы наказать меня за мое презрение к авторитетам, судьба сделала авторитетом меня самого».

Во время развода Эйнштейн обещал Милеве: «Никогда не откажусь жить один — я себя чувствую при этом невыразимо счастливым». Однако прошло меньше четырех месяцев после развода, и он уже был женат снова.

Паулина восприняла развод сына с Милевой так, словно выиграла в лотерею. «Как бы радовался бедный папа, если бы мог увидеть это!» Однако всего год спустя у матери Эйнштейна нашли рак желудка. Еще одним ударом для нее стало отдаление Альберта.



## ЗАТМЕНИЕ

В 1804 году баварский астроном Иоганн Георг фон Зольднер (1776–1833), основываясь на корпускулярной теории Ньютона, согласно которой свет состоял из частиц, чувствительных к силе тяжести, сформулировал следующее любопытное утверждение: «Световой луч, проходящий рядом с небесным телом, под воздействием силы его притяжения описывает гиперболу, вогнутую в противоположную сторону от тела, притягивающего луч». Фон Зольднер рассчитал, что рядом с Солнцем угол отклонения (или угол пертурбации) составит 0,84 секунды. Заметно ли такое отклонение с Земли? «При наблюдении за неподвижными звездами, ближайшими к Солнцу, это явление следовало бы принять к сведению. Однако, поскольку такое наблюдение с Земли невозможно, мы можем не учитывать это отклонение». В XIX столетии корпускулярная теория света уступила место волновой теории, и предположение фон Зольднера, которое было невозможно проверить средствами эпохи, довольно скоро ушло в историю.

В июне 1911 года, отталкиваясь от различных научных догадок, Эйнштейн в своей статье «О влиянии силы тяжести на распространение света» вслед за фон Зольднером пришел к той же идее и указал практически тот же угол отклонения: 0,83 секунды. Однако он сделал диаметрально противоположный зольднеровскому вывод:

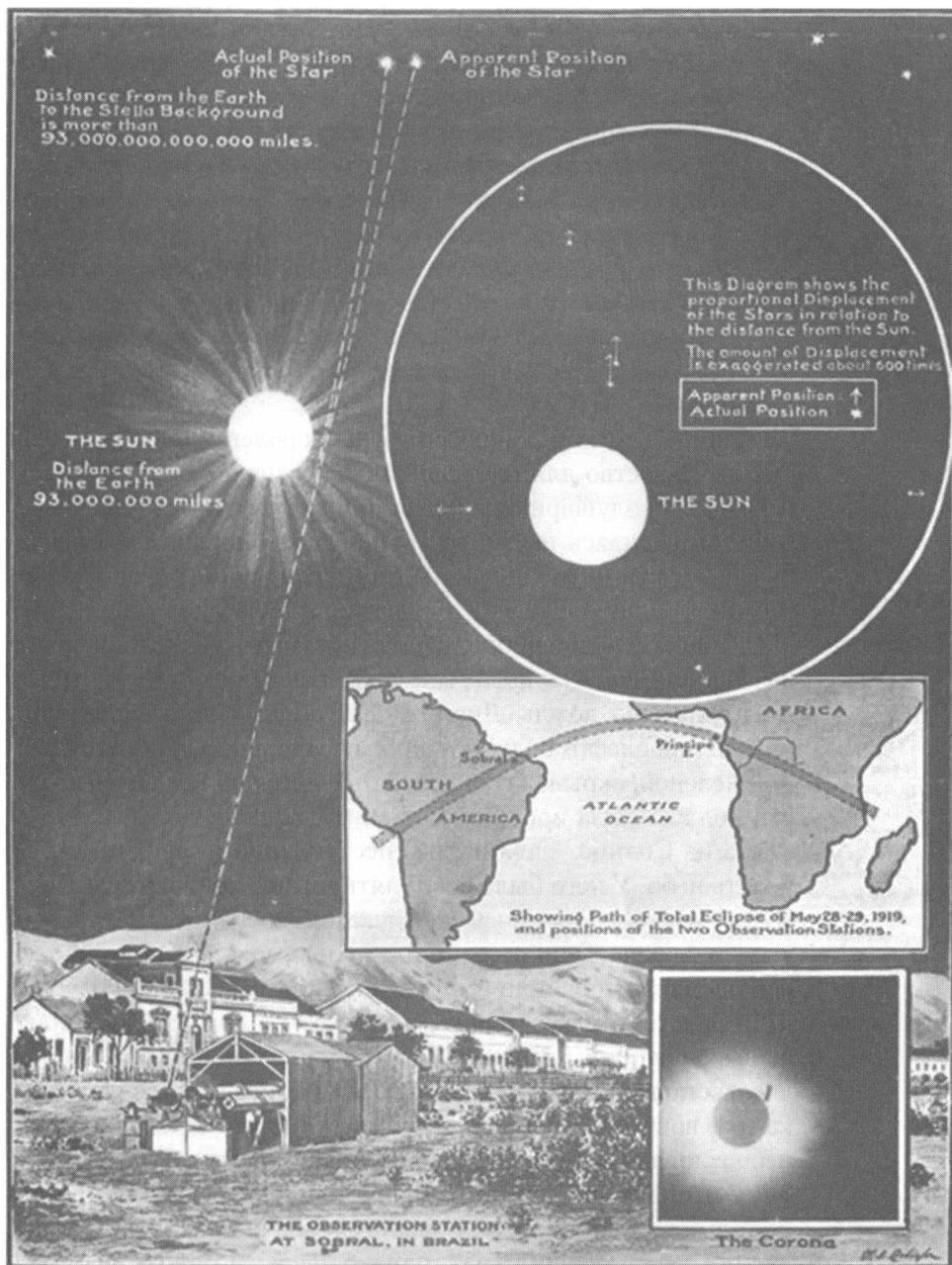
«Так как звезды соседних с Солнцем частей неба делаются видимыми при полных затмениях, то это следствие теории сравнимо с опытом. [...] Было бы крайне желательно, чтобы астрономы заинтересовались поставленным здесь вопросом даже в том случае, если бы предыдущие рассуждения казались недостаточно обоснованными или рискованными».

Три года спустя после публикации статьи Эйнштейна в «Анналах физики», 21 августа 1914 года, состоялось полное солнечное затмение, во время которого стало возможным проверить теорию Эйнштейна.

Молодой астроном из Висбадена Эрвин Фрейндлих (1885–1964) решил принять участие в этой проверке, но его экспедиции в Крым помешала Первая мировая война. 1 августа, сразу же после объявления войны, в России была арестована группа немецких астрономов, принятых за шпионов. «Мой хороший друг астроном Фрейндлих, — жаловался Эйнштейн в письме к Паулю Эренфесту, — вместо того чтобы проводить в России опыты, связанные с затмением Солнца, на своем опыте проверит, что такое тюрьма в этой стране». Эйнштейн тогда не знал, что царская Россия оказала ему услугу: его теория еще не была готова выдержать проверку, и наблюдения Фрейндлиха вместо того, чтобы подтвердить принципы относительности, опровергли бы их.

Эйнштейн доработал свое уравнение и в уже упоминавшемся докладе на конференции 25 ноября 1915 года сделал второй подсчет, результаты которого не совпадали с выводами фон Зольднера: угол пертурбации был равен 1,7 секунды. Эта разница стала отличным поводом для сопоставления релятивистского взгляда на силу тяжести и классического ньютоновского. Артур Эддингтон (1882–1944), глава обсерватории в Кембридже, проверил данные теории на практике во время затмения 29 мая 1919 года:

СЛЕДУЮЩАЯ  
СТРАНИЦА.  
Описание  
наблюдений  
Кроммелина  
в Собрале  
(Бразилия),  
напечатанных  
в «Иллюстрирован-  
ных лондонских  
новостях»  
22 ноября  
1919 года.



«Эффект искривления сильнее всего заметен для света звезд, которые находятся ближе всего к Солнцу, поэтому единственная возможность произвести наблюдения — это воспользоваться временем полного затмения. Даже в этом случае большое количество света выходит за пределы солнечного ореола и распространяется далеко от диска. Астроном, наблюдающий за звездами, скажет, что самый благоприятный день для расчета отклонения луча света — 29 мая. В этот день Солнце, двигаясь по своей орбите, проходит через звездные скопления различной плотности; 29 мая оно находится посреди исключительно ярких звезд — в скоплении Гиад, лучшей доступной области звездного неба».

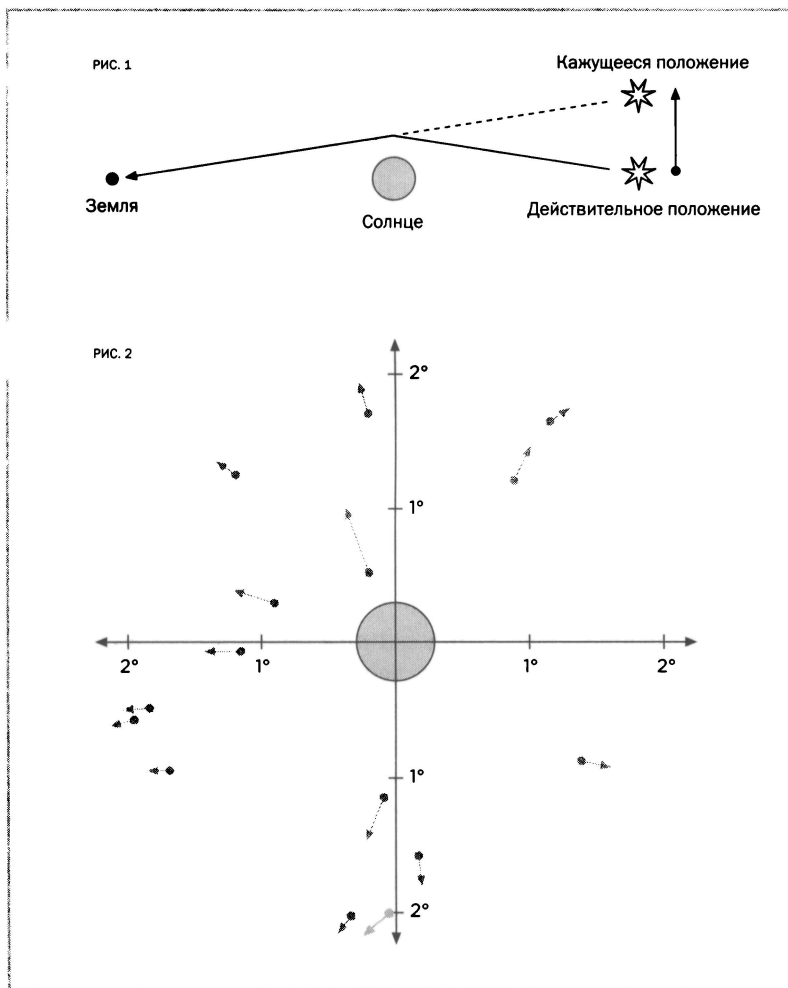
Кембриджский университет и Королевское астрономическое общество для наблюдения за затмением из Северного и Южного полушарий организовали две научные экспедиции: одна направилась на юг, в сторону бразильского города Собраль, другая — на север, к острову Принсипи в Гвинейском заливе.

Северная экспедиция чуть не сорвалась из-за плохой погоды. В день затмения небо было плотно затянуто тучами и с самого утра лил дождь. Днем, в половину второго, появились первые проблески солнца, но облака все еще нависали тяжелой пеленой, скрывая сцену, на которой теория относительно должна была пройти испытание. Как только лунная тень упала на Солнце, Эддингтон в исступлении стал фотографировать небо. У него было всего пять минут, и в эти пять минут солнце порой скрывалось за облаками. Из шестнадцати снимков скопления Гиад получились только два. Эддингтон, сгорая от нетерпения, приступил к расчетам. А что же произошло в Собрале? Как рассказывал Эндрю Кроммелин, глава бразильской экспедиции, погода в Южном полушарии также заставила ученых понервничать, «но облака разошлись рядом с Солнцем как раз вовремя, и в течение четырех или пяти минут затмения небо вокруг Солнца оставалось полностью ясным».

Анализ Эддингтона подтвердил выводы релятивистов: он использовал для расчета фотографические снимки звезд из того же скопления Гиад, однако сделаны они были летом

в Англии, когда Солнце уже не вызывало отклонение их света. Астроном подтвердил: 29 мая угол отклонения составил 1,7 секунды.

Некоторые англичане восприняли этот опыт как продолжение поединка между великим британским гением Исааком Ньютоном и немцем Эйнштейном, которого, впрочем, в Германии немцем вовсе не считали. 6 ноября 1919 года в Лондоне



Солнце заставляет лучи света, проходящие рядом с ним, отклониться от своей траектории, и из-за этого кажется, что некоторые звезды занимают на небе другое положение, нежели на самом деле, как это показано на рисунке 1. Угол отклонения легко рассчитывается при наложении двух снимков одной и той же звездной области друг на друга, сделанных с учетом и без учета затмения (рисунок 2). Каждая стрелка соединяет действительное положение звезды (начало стрелки) и кажущееся (острие стрелки).

общее собрание Королевского астрономического общества и Британского королевского общества заключило, что анализ фотографий подтверждает гипотезу, выдвинутую в рамках общей теории относительности.

Если первая астрономическая экспедиция Фрейндлиха состоялась при неблагоприятных исторических и научных условиях, то вторая попала точно в цель. Научная новость появилась на первых страницах газет. Заголовки того времени гласят: «Теория Эйнштейна торжествует победу» (New York Times), «Революция в науке», «Идеи Ньютона свергнуты» (Times), «Новая великая личность в мировой истории: Альберт Эйнштейн» (Berliner Illustrirte). Ученый стал настоящей знаменитостью.

Подтверждение теории привлекло внимание не только журналистов и обывателей, но и ученых. Действительно, ее главное уравнение могло бы найти применение и в других областях, но космос казался естественной средой принципа относительности. И если в движении ядер и электронов этот принцип оставался незамеченным, то среди звезд и галактик он блистал во всю силу. Двери для первого закона постньютоновской механики распахнулись.

## **СВЕТ, ПЛЕННИК ТЕМНОТЫ**

Во время дуэли с Гильбертом Эйнштейн, в погоне за быстрым экспериментальным подтверждением, дополнил свое уравнение тремя частными случаями: расчетом аномалии на орбите Меркурия, отклонением луча света и красным смещением (это явление мы объясним ниже). Два последних эффекта были вызваны воздействием силы тяжести. Однако время поджимало, и Эйнштейн ограничился приблизительными выводами.

Вскоре его теория перестала вызывать интерес исключительно у физиков. Первые точные вычисления сделаны астрономом Карлом Шварцшильдом (1873–1916). Астрономия была у него в крови: Шварцшильд опубликовал свою первую

статью об орбите двойных звезд в возрасте 16 лет, будучи еще учеником школы. За три дня до нового 1915 года он писал Эйнштейну, рассказывая о собственных вычислениях аномалий на орбите Меркурия: «Вы видите, несмотря на пушечный огонь, война относится ко мне с милосердием, позволяя мне уклоняться от нее и прогуливаться по земле ваших идей».

Шварцшильд нашел точное решение уравнений Эйнштейна для изолированной точечной звезды. Для простоты астроном посчитал небесное тело сферически симметричным, незаряженным и неподвижным. Метрика Шварцшильда достаточно точно описывает гравитационное поле изолированной невращающейся и незаряженной массы и искажение пространства-времени снаружи от изолированного сферического небесного тела. Он обратил внимание на то, что по мере приближения к звезде, то есть по мере увеличения плотности ее гравитационного поля, течение времени замедляется. Видимым подтверждением этого феномена служит эффект красного смещения, которому подвергается свет, исходящий от звезды.

При изучении света обнаружилось, что электроны создают электромагнитное излучение в виде волн различной длины. Так же как солнечный свет раскладывается на отдельные цвета, можно проанализировать любое излучение и выявить его составляющие с помощью соответствующего оборудования. Атомный спектральный анализ дает ответ на вопросы об элементарной и молекулярной структуре звезды на основании спектра ее излучения.

Вычисления Шварцшильда показывали, что для атома любого вещества на поверхности звезды время течет медленнее, чем для атома того же вещества на Земле (с точки зрения наблюдателя с Земли), поэтому их временные шкалы не совпадают (рисунок 1).

Эта разница влияет на то, как мы воспринимаем излучение звезд. Хотя для каждой системы звезды и Земли при одной и той же температуре образуются одинаковые атомы с одинаковым спектром, астрономы открыли, что излучение звезды имеет большую длину волны, или период ( $T$ ) (рисунок 2).

Сравнение шкал  
времени  
на поверхности  
звезды  
и на поверхности  
Земли.  
Несовпадения  
свидетельствуют  
о том, что плотность  
гравитационного  
поля вблизи  
звезды больше,  
чем вблизи нашей  
планеты.

РИС. 1

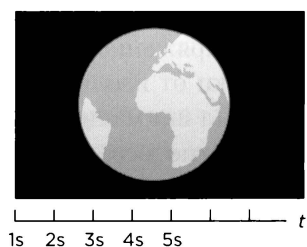
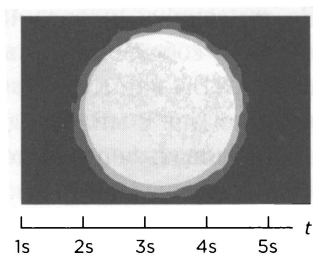
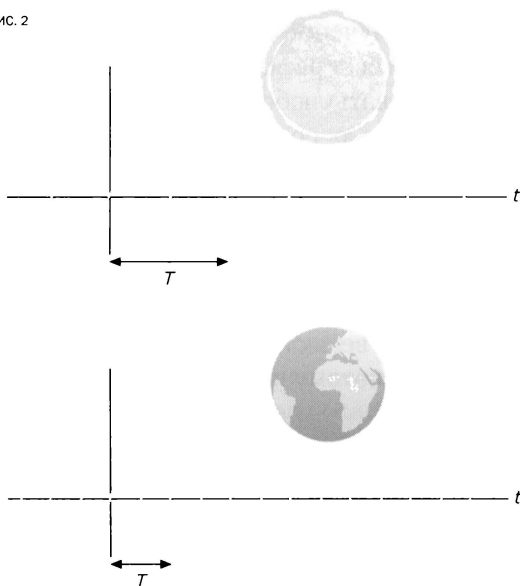


РИС. 2





Период — это единица, обратная частоте ( $T = 1/\nu$ ). По мере роста  $T$  спектральные линии химических элементов смещаются в длинноволновую сторону (в сторону красного цвета); в пространстве это смещение под влиянием звездной массы называется гравитационным, оно увеличивается с ростом плотности гравитационного поля. Чем больше плотность и масса звезды, тем более явным станет красное смещение и тем медленнее будет протекать время рядом со звездой. Продолжив рассуждения, мы обнаружим, что при критической плотности время практически останавливается, и красное смещение резко усиливается, заполняя весь спектр. Шварцшильд посчитал этот крайний случай математической иллюзией, которая не имеет ничего общего с реальностью. Сам того не зная, он писал о черной дыре — странном астрономическом явлении, которое в будущем поразит воображение физиков и любителей научной фантастики. Этот термин введет Джон Уилер на осенней конференции Института Годдарда в НАСА в 1967 году.

Эйнштейн очень внимательно следил за работой Шварцшильда. К сожалению, блестящие исследования астронома, дополнявшие общую теорию относительности, были прерваны. Когда Шварцшильд находился на восточном фронте, у него началось аутоиммунное заболевание кожи, исследователь вернулся в Потсдам и через два месяца умер.

Крайний случай смещения, обнаруженный Шварцшильдом, привлек внимание Эйнштейна, и знаменитый физик также заключил, что «особенности, отмеченные Шварцшильдом, не существуют в физической реальности». Однако на первой конференции о черных дырах Уилер не только утверждал о существовании этого явления, но и представил его обширное и довольно живое описание. Когда ядерное топливо звезды иссякает, ее судьба зависит от ряда переменных, в том числе и от начальной массы. Может случиться так, что умирающая звезда коллапсирует под действием гравитационных сил, то есть схлопывается под собственной тяжестью.

« [...] из-за быстрого сжатия [поверхность умирающей звезды] отдаляется от наблюдателя все с большей скоростью. Свет смещается в сторону красного спектра. За доли секунды он слабеет настолько, что мы перестаем его воспринимать... [Звезда], как Чеширский кот, исчезает из поля зрения, и остается только ее улыбка — ее гравитационное притяжение».

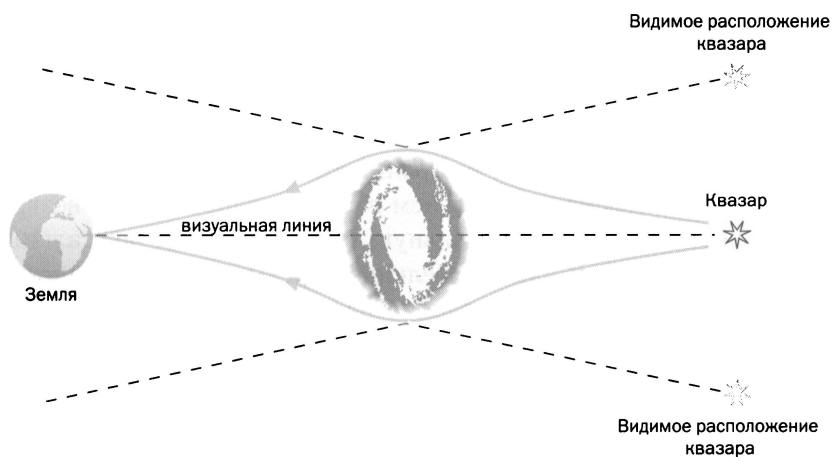
Мы уже знаем, что искажения пространства-времени отражают состав материи. Если сжать массу Солнца так, чтобы она уместилась в пространстве, равном примерно половине острова Манхэттен, материя достигнет плотности черной дыры. Концентрация материи в пространстве-времени доходит до таких пределов, что Шварцшильд и Эйнштейн едва ли осмеливались делать эти вычисления на полях своих записей. Однако Вселенная оказалась гораздо более необычным местом, чем ее видели патриархи релятивизма. Вблизи черной дыры время резко замедляется, а сама звезда окружена невидимой сферой, известной как горизонт событий, которая является своеобразной чертой невозврата. Провалившись под этот горизонт, наблюдатель увидит свет, запертый внутри сферы и блуждающий в ней миллиарды лет. Это словно фильм, запечатлевший историю черной дыры с самого момента ее рождения.

Черные дыры не отслеживаются ни в одном спектре, заметить их не легче, чем поймать человека-невидимку: для этого нужно опустить взгляд и обнаружить его следы на снегу. Прямых подтверждений существования черных дыр нет, однако телескопы фиксируют гравитационные смещения звезд и галактик, которые могут быть вызваны именно влиянием черных дыр. Предубеждение Эйнштейна против этих тел кажется иронией. Как отмечал Фримен Дайсон, «это единственные тела во Вселенной, которые во всей полноте и великолепии воплощают теорию относительности».

Смещение перигелия Меркурия или черные дыры показывают любопытные уголки релятивистского космоса, но не отвлекают внимание от деталей. Описывающие их уравнения можно использовать и для других областей, обозначив буквой  $T$  всю энергию и материю Вселенной. Эйнштейн первым

## ГРАВИТАЦИОННАЯ ЛИНЗА

В 1936 году Руди Мандл, инженер и страстный ученый венгерского происхождения, отметил, что гравитационное поле массивных тел искривляет направление электромагнитного излучения, воздействуя на него так же, как обычная линза влияет на световой луч. Если между звездой и Землей на одной линии поместить массивное тело, то наблюдатель на Земле заметит увеличение яркости наблюдаемой звезды. Эйнштейн предполагал подобный эффект в 1912 году, но затем отбросил эту мысль, поняв, что такое явление будет довольно трудно пронаблюдать. Спустя 20 лет, подгоняемый энтузиазмом Мандла, он повторил свои вычисления и опубликовал небольшую заметку в журнале «Наука». Вывод в последнем параграфе гласил: для расчета этого феномена не существует возможностей. В 1930-е годы так оно и было, но в 1979 году Деннис Уолш, Роберт Карсвелл и Рей Вейман впервые наблюдали в обсерватории Кит-Пик, в Аризоне, проявления гравитационной линзы. В числе оптических искажений, вносимых гравитационной линзой, могут быть дуги, ореолы, кресты, множественные изображения. На рисунке изображена гравитационная линза в виде галактики: она создает два изображения квазара.



сделал возможной современную космологию, однако задача, с которой он столкнулся, была настолько сложной, что поначалу ученый должен был опираться на приблизительные вычисления. Первым его шагом стало предположение, что материя непрерывно делится. Он также заявил, что все направления во Вселенной равноправны и поворот системы отсчета на произвольный угол не влечет изменения результатов измерений (условия гомогенности и изотропии).

В 1917 году вид космоса ограничивался моментальным снимком Млечного Пути. Огромное скопление звезд в пустоте. Однако при использовании снимка в вычислениях на фотографии начиналось движение. Звезды под влиянием гравитационных сил смещались со своих позиций, приближаясь друг к другу. Эйнштейн ввел в уравнение новый параметр — космологическую постоянную, которая характеризует свойства вакуума и объясняет эволюцию некоторых космологических моделей.

Физический смысл этого математического параметра оставался неясным, так как единственная цель ее введения — гарантировать пространственно-однородное статическое решение уравнений. Эйнштейн взял модель плоской Вселенной Ньютона, изогнул ее и вывернул, превратив в гиперсферу (сферу с четырьмя измерениями). Поверхность гиперсферы представляет собой безграничное пространство: наблюдатель может перемещаться в нем в любом направлении, возвращаясь каждый раз в начальную точку и никогда не сталкиваясь с границей. В нашей Вселенной трехмерное пространство замыкается, образуя подобие надутого резинового шара. Космический корабль, придерживаясь одного и того же курса, мог бы облететь всю Вселенную и вернуться в начальную точку. В 1930 году Эддингтон показал, что расширение Вселенной можно объяснить с использованием космологической постоянной. С математической точки зрения Вселенная Эйнштейна находится в таком же шатком равновесии, как и трость на носу у канатного плясуна, и малейшие изменения ее характеристик могут привести к ее расширению или сжатию.

В течение последующих десятилетий, по мере развития наблюдательных приборов астрономы осознали, что Вселенная

продолжается далеко за пределами нашей галактики. В 1929 году Хаббл заметил, что чем дальше от нас находится галактика, тем быстрее она отдаляется. Это явление следует понимать не как перемещение галактики в пространстве, но как расширение самого пространства. Вернемся к аналогии с шаром: если мы будем его надувать, точка на его поверхности будет удаляться от соседних точек, хотя сама она при этом не перемещается. И этот эффект весьма схож с тем, что мы наблюдаем на небосклоне: небесные тела движутся благодаря расширению пространства.

Картина разлетающихся галактик Хаббла противоречила эйнштейновскому изображению статичной Вселенной. К счастью для ученого, в 1922 году советский физик Александр Фридман (1888–1925) показал, что в однородной и изотропной Вселенной возможны явления и расширения, и сжатия, при этом гравитационное притяжение должно тормозить расширение. Георгий Гамов рассказывал в своей автобиографии: «Обсуждая проблемы космологии, Эйнштейн сказал, что введение космологической постоянной могло стать главной ошибкой в его жизни». Однако космологическая постоянная удивила астрономов: в конце 1990-х годов они констатировали, что расширение Вселенной не компенсируется гравитационным притяжением и происходит все быстрее, представляя собой загадку для физиков-теоретиков.

## **ТЕМНАЯ СТОРОНА СВЕТА**

В счастливые 1920-е годы — время, когда развивалась новая теория гравитации, — Эйнштейн стал участником открытого диспута вокруг квантовой механики. В отличие от теории относительности, квантовая механика была плодом коллективных усилий десятка физиков, что определяло ее некоторую непоследовательность. Сама природа квантовой механики противоречила всем законам классической физики.

Теорию критиковали многие авторитеты. Нильс Бор говорил: «Те, кто не испытал волнения при первом знакомстве

с квантовой механикой, не способны ее понять». Шрёдингер жалел о своем участии в ее создании: «Теория мне не нравится, и мне жаль, что я имел с ней что-то общее». А Эйнштейн высказался о квантовой механике в свойственной ему афористичной манере (правда, большинство этих афоризмов были не слишком лестными): «Чем больше успеха имеет квантовая теория, тем более нелепой она кажется».

Несмотря на всех недоброжелателей, в число которых входили даже создатели теории, следует отметить необычайную решительность ее последователей, которые продолжали делать все новые открытия и проводить необычайно точные эксперименты. Немногие теории могли похвастаться, как говорил Поль Дирак, использованием «большой части физики и всей химии».

Возвращаясь к Эйнштейну, вновь вспомним спор о свете. Именно луч света участвовал в его первой вспышке вдохновения. После того как было подтверждено отклонение света при столкновении с массой Солнца, ученый стал живой легендой. Однако тема была не исчерпана, и Эйнштейн обратился к темной, квантовой стороне света. И благодаря этому были возведены два грандиозных основания физики XX века: теория относительности и квантовая механика.

Должно быть, я кажусь кем-то вроде страуса, который всегда прячет голову в песок относительности, чтобы не встречаться с проклятыми квантами.

Из письма Эйнштейна к физiku Луи де Брогли

Все началось, когда Макс Планк заявил, что материя испускает и поглощает электромагнитное излучение в виде порций (квантов) энергии, причем размеры этих порций не произвольны: сама природа задавала нижнюю границу энергетического обмена. Эйнштейн пошел еще дальше, предположив, что само излучение определяло «ограниченное количество квантов энергии», даже когда оно распространялось в пространстве свободно, вдалеке от тел.

Эйнштейн не одобрял идеи о непрерывном электромагнитном поле Максвелла и об определенной форме материи, состоящей из атомов и молекул. Непрерывное против дискретного — эти явления никак не соответствовали друг другу. Если можно было бы рассмотреть электромагнитные волны сквозь квантовую линзу, мы бы увидели бесконечное множество частиц, подобно тому, как фотография при приближении на экране компьютера распадается на тысячи пикселей.

В течение долгого времени научное сообщество тактично игнорировало эту гипотезу. Когда в 1913 году кандидатура Эйнштейна была выдвинута для включения в Прусскую академию наук, Нернст и Планк в своем рекомендательном письме расхваливали ученого, однако отмечали, что иногда он «слишком далеко заходит в своих предположениях, как, например, в гипотезе о кванте света». Основная проблема, как и в случае с относительностью, состояла в том, что многие из догадок Эйнштейна пока было невозможно доказать экспериментальным путем.

Несмотря на общий скепсис, Эйнштейн, как обычно, стоял на своем. В 1916 году он сформулировал идею, которую вынашивал почти десятилетие: обмен энергией происходит в форме образования частиц, обладающих моментом силы (векторной величиной, равной массе тела, умноженной на его скорость).

То есть кванты света, или фотоны, вели себя как снаряды энергии. Спустя семь лет эта гипотеза была подтверждена в лаборатории Артура Комптона (1892–1962).

Однако под влиянием работ Бора, Гейзенберга и Борна Эйнштейн практически без перехода поменял позицию со слишком смелой на слишком консервативную.

В случае черных дыр мы увидели, как с помощью спектрального анализа можно определить элементарный состав излучающего тела. Атомные спектры предлагали бесценный инструментальный анализ для физиков, позволяющий формулировать сложные вопросы. Например, чем заряжен каждый заряд? Какова его структура? Методом проб и ошибок швейцарец Иоганн Бальмер описал с помощью простой формулы известный к тому времени спектр атомов водорода, однако так и не смог объяснить ее теоретические основы.

В 1912 году молодой датский физик Нильс Бор приехал в Университет Манчестера, чтобы просить о доступе к лаборатории Шустера. Директор лаборатории, Эрнест Резерфорд (1871–1937), вскоре оценил склонность Бора к решению парадоксов; он действовал словно дорожный каток — медленно, но верно. Используя уравнения Планка и Эйнштейна, Бор создал модель атома, определив, что электроны могут двигаться только по определенным стационарным орбитам. Каждой орбите соответствует свой уровень энергии, и при переходе электронов с одной орбиты на другую происходит поглощение или излучение энергии в виде квантов электромагнитного излучения (или фотонов). Энергетический заряд кванта соответствует разнице в уровне энергии между орбитами.

Внутренняя структура каждого элемента подобна амфитеатру, ступени которого соответствуют разным уровням энергии; электроны перемещаются с одной ступени на другую, поглощая или испуская фотоны с характерным спектром. Таким образом, излучение соответствует строению атома (рисунки 3 и 4).

Алан Лайтман, говоря о статье Бора, отмечал, что квантовый туман начал проникать даже в научный язык:



«Любопытно, что Бор утверждает: электроны переходят с одной орбиты на другую, хотя довольно трудно представить, как именно это происходит. Согласно модели ученого, электрон никоим образом не может оказаться между орбитами, потому что в этом положении он непрерывно излучал бы энергию. Но каким-то образом электрон, находясь изначально на одном уровне энергии, соответствующем конкретной орбите, вдруг появляется на другой орбите с другим уровнем энергии. Только что я использовал слово „появиться“. Бор пользуется словом „переходить“. Некоторые ученые говорят, что электроны „перепрыгивают“. Но на самом деле в нашем лексиконе нет подходящего слова для обозначения этого феномена, который выходит за пределы привычного человеческого опыта».

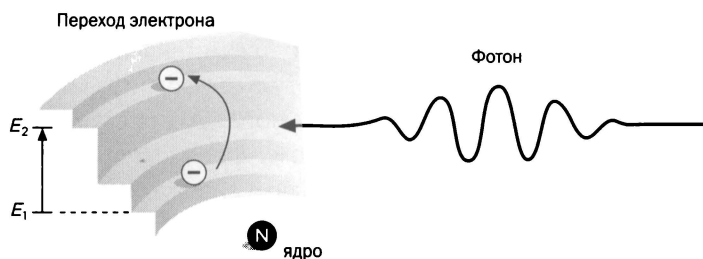


РИС. 3

Переход электрона с одного энергетического уровня ( $E_1$ ) на другой, более высокий ( $E_2$ ), сопровождающийся поглощением фотонов (рис. 3). Переход с одного энергетического уровня ( $E_2$ ) на другой, более низкий ( $E_1$ ), сопровождающийся излучением фотонов (рис. 4).

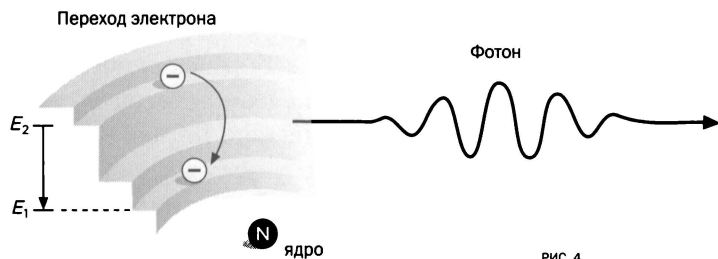


РИС. 4

Модель Бора идеально подошла атому водорода — простейшему из атомов. Однако хотя она и облегчала понимание химического поведения элементов, по мере роста числа электронов все яснее становилось, что эта модель — не конец пути, а лишь остановка на длинном маршруте.

Благодаря Бору мы получили ясное и понятное представление об атоме, но без ответа оставалось еще слишком много вопросов. Например, вопрос о фотонах. Излучение происходило в определенном направлении и в определенный момент, но что определяло этот момент и это направление? Почему электрон, двигаясь по стационарной орбите, не излучает энергию, а при переходе с орбиты на орбиту делает это?

Модель Бора объединяла подходы классической и новой физики. Вернер Гейзенберг (1901–1976) пришел к выводу о том, что необычность этой модели является ее преимуществом, а ее недостатки объясняются как раз использованием в ней понятий из классической физики. Словом, впереди науку ожидали еще более странные открытия.

К этим открытиям приложил руку и сам Гейзенберг. В разгар лета 1925 года жестокий приступ аллергии застал его на острове Гельголанд в Северном море. Антигистаминных препаратов тогда еще не было, поэтому физик упорно боролся с ринитом и одновременно обдумывал специальную теорию относительности. Как правило, Эйнштейн отбрасывал любой концепт, если он не согласовывался с видимыми явлениями, — даже если этот концепт казался логичным с точки зрения интуиции. Гейзенберг решил пойти по стопам знаменитого коллеги. Да, ученые наблюдали спектр атомного излучения, но кто-нибудь когда-нибудь наблюдал электрон во время его перехода с одной орбиты на другую? Боровские орбиты с их заданными радиусом и периодом невозможно было наблюдать, потому модель требовала уточнения. Гейзенберг заявил: «Я приложу все усилия на то, чтобы уничтожить понятие орбиты». А затем заложил основы новой теории — принципа неопределенности. Ученый полагал, что природные явления на атомном уровне «поддаются пониманию только тогда, когда исследователь по мере возможностей оставляет попытки пред-



Фотография, сделанная 28 июня 1929 года. Макс Планк вручает Эйнштейну медаль со своим именем. Эти двое ученых стали первыми лауреатами премии Немецкого физического общества, которая вручалась за особые достижения в области теоретической физики.

ставить их наглядно». Вместо образов Гейзенберг предложил абстрактное, чисто математическое представление, основанное на использовании принципиально наблюдаемых величин, таких как частоты спектральных линий.

Для того чтобы проанализировать материю, необходимо взаимодействовать с ней. И в этом случае квантовый мир ставит перед нами вопрос: до какой степени наше вмешательство в качестве наблюдателей влияет на исследуемое явление? Возможно ли, что те данные, которые мы считаем объективным результатом анализа, модифицированы самим актом измерения? Представим себе, что мы стреляем по статуе резиновыми пулями, чтобы проанализировать, в каком направлении они отскакивают. Пули, не отскочившие от поверхности, позволят довольно точно определить размеры статуи. Если вместо пуль использовать надувные мячи, выводы будут лишь весьма приблизительными, но с уменьшением размера снаряда информация становится все более детальной. Связь между кривизной поверхности наших снарядов и информацией о скульптуре, которую мы хотим получить, оказывается критической.

Фотоны видимого света имеют гораздо меньший размер, чем доступно нашему зрению, кроме того, они не имеют жесткой поверхности и едва ли способны изменить состояние материи, взаимодействуя с ней. Аналогию, приведенную выше, не стоит воспринимать буквально, ведь свет не имеет обыкновения отскакивать от освещаемого предмета рикошетом, однако она позволяет дать интуитивное представление о процессе.

На атомном уровне снаряды, которые раньше казались нам крохотными, становятся такими же огромными, как статуя, которую мы собрались изучать. Если для того чтобы, например, обнаружить электрон, мы начнем бомбардировку атома фотонами с низким энергетическим зарядом и большой длиной волны, получится, что мы бросаемся надувными шарами того же размера, что статуя. Чтобы получить точную информацию, придется увеличить энергию фотона, а это значит, что наши пули станут тверже. И это будет означать не только возможность разглядеть детали статуи, но и риск ее разрушить. Траектория отскока в этом случае будет говорить не столько о рельефе

## НЕ ТАКИЕ УЖ ВТОРОСТЕПЕННЫЕ ВЫВОДЫ ЭЙНШТЕЙНА

«Второстепенные» изыскания Эйнштейна можно назвать таковыми только в сопоставлении с громадой теории относительности, но в действительности они сделали бы честь любому физику. В этих исследованиях главным героем снова выступает свет.



- При освещении металлической пластины ультрафиолетовым светом наблюдается высвобождение электронов. В 1902 году Филипп Ленард (1862–1947) обнаружил, что скорость испускаемых частиц растет с увеличением частоты света, но не его интенсивности. Эйнштейн объяснил этот феномен, названный фотоэлектрическим эффектом: энергетический заряд, переносимый каждым из фотонов, зависит от частоты света, и более интенсивное излучение приводит к увеличению числа испущенных поверхностью электронов, но не их энергии.
- Электроны взаимодействуют с фотонами, спонтанно повышая и понижая энергетическую шкалу. В 1917 году Эйнштейн задумался о возможности форсировать излучение. Необходимых условий было два: наличие атома с возбужденным электроном (характеризуется избыточной энергией) и фотона, энергетический заряд которого совпадал бы с уровнем заряда орбиты электрона. При выстреле фотоном в атом последний испускает два фотона с равной энергией и в одном направлении. Так было заложено понятие вынужденного излучения (или, по-английски, SER — *stimulated emission of radiation*), которое используется в работе лазеров (от англ. LASER — *light amplification by stimulated emission of radiation*, или «усиление света посредством вынужденного излучения»).
- В 1924 году в руки Эйнштейну попала статья Шатьендраната Бозе (1894–1974), физика из Калькутты, в которой говорилось о новом подходе к статистическому описанию света (на иллюстрации — фото индийского ученого, сделанное в 1925 году). Бозе делал акцент на том, что фотоны, в отличие от электронов, могут терять свою идентичность. Эйнштейн предположил, что газ может вести себя точно так же. При понижении температуры до абсолютного нуля атомы лишаются единственной своей отличительной черты — энергии — и переходят в новое состояние материи — состояние конденсата Бозе — Эйнштейна, в котором атомы замедляются, словно объединяясь в один суператом, и квантовые эффекты начинают проявляться на макроскопическом уровне. В 1995 году конденсат Бозе — Эйнштейна был впервые получен в лаборатории.

объекта, сколько о процессе его фрагментации. Как видите, наша попытка изучить феномен полностью меняет его суть.

Ограниченная четкость изображения — вещь неизбежная, поскольку мы используем волны и частицы для изучения собственно волн и частиц, и одни влияют на другие. Еще хуже то, что не всегда ясно, где пролегает граница между одним явлением и другим, поскольку частица может вести себя как волна и наоборот. Какой бы ни была природа квантовых сущностей, невозможно раз и навсегда определить их как волну или как частицу, потому что в зависимости от обстоятельств они проявляются как одним образом, так и другим.

Согласно законам классической физики, мы можем начертить траекторию электрона, зная его положение в пространстве в определенный момент времени, а также определить его скорость (вектор, указывающий направление движения). Гейзенберг настаивал на том, что в отношении атомов сказать то же самое нельзя:

«Чтобы увидеть орбиту электрона в атоме, возможно, самое очевидное — использовать микроскоп с высочайшим разрешением. Но поскольку образец под линзой микроскопа должен был бы освещаться лучом с крайне малой длиной волны, первый же квант света, достигший электрона и проникший в глаз наблюдателя, тут же выбил бы электрон с его орбиты [...]. Поэтому экспериментально можно наблюдать лишь одну точку траектории за раз».

А если опыт не позволяет вычислить траекторию, ее нельзя внести в теорию. Непрерывность движения, о котором говорит нам здравый смысл, это всего лишь мираж, наблюдение с огромного расстояния за тем, что по своей природе не может быть точным. При приближении эти линии размываются и становятся неразличимыми.

Заслуга Гейзенберга состоит не в формулировке принципа неопределенности, а в его математическом обосновании. Он показал скрытую ранее связь между главными видимыми величинами: положением и моментом времени, временем и энергией. Чем более точно мы определяем одну из них, тем меньше

представления имеем о второй. Мы можем узнать точное положение электрона, но при этом ничего — о его скорости. Модель атома таяла на глазах, и в этом тумане нашло себе место сердце новой науки.

Многие физики, поднявшие флаг квантовой революции, унаследовали от Эйнштейна стиль мышления, но их открытия показали, что они идут не в ногу со своим учителем. Траектория, главный герой новой теории гравитации, с учетом геодезических линий оказалась вне закона. Этот факт превращал принцип неопределенности в злейшего врага общей теории относительности.

Последователи Гейзенберга, к примеру Борн, подвергли принцип неопределенности суровой статистической проверке. Верно, что до измерения невозможно точно определить, где находится электрон или когда возбужденный атом испустит фотон, но ответы на эти вопросы далеко не произвольны. Законы квантовой механики определяют вероятность того или иного исхода и предсказывают ее изменение с течением времени.

Эйнштейн в частных беседах и публично говорил о своем неприятии новой доктрины. Он вступил с Бором в один из самых ожесточенных споров во всей истории физики. Хотя ученые симпатизировали друг другу, в вопросе интерпретации квантовой механики занимали противоположные точки зрения. Когда у Эйнштейна не оставалось аргументов, он прибегал к афоризму: «Бог не играет в кости», а Бор в ответ терял всю свою любезность: «Не говорите Богу, что ему делать!»

Главный вопрос заключался в том, чтобы решить, до какой степени статистическая картина квантового мира определялась дефицитом информации. С детерминистской точки зрения Ньютона, если бы нам были известны положение и скорость всех частиц Вселенной, то она стала бы для нас чем-то вроде часового механизма, работу которого можно представить себе с абсолютной точностью. Но на практике обработать такое количество информации совершенно невозможно. Нечто похожее происходит при изучении систем высшей сложности, например климата, и в этом случае мы также прибегаем к статистическому описанию. Неопределенность здесь не то чтобы

неотделима от сути явлений, просто мы еще не способны работать с подобной информацией.

Эйнштейну в квантовом описании не хватало завершенности. Однако, согласно критерию Бора, больше не существовало такого уровня реальности, на котором можно было бы вернуться к детерминизму. Только акт измерения и выбор наблюдаемой величины могут устранить неопределенность и уточнить одну из характеристик: либо положение, либо момент времени; либо время, либо энергию. В большой мере растерянность, испытываемая учеными перед квантовым миром, возникает из-за попыток заполнить пустоты на атомном уровне в стремлении следовать логике макромира. После Бора, Гейзенберга и Борна картина мира, возможно, стала несколько обескураживающей, однако выиграла в последовательности.

## ИЗГНАНИЕ

Квантовые парадоксы брали физику на абордаж, в этих условиях стало неизбежным, что Эйнштейн получил Нобелевскую премию не за теорию относительности, а за объяснение фотоэффекта. Ученого номинировали на премию девять раз, и восемь раз его кандидатура была отвергнута. Вначале среди членов Нобелевского комитета было очень мало людей, способных оценить его открытия. Сыграла роль и личная неприязнь одного из советников комитета и лауреата Нобелевской премии по физике 1905 года Филиппа Ленарда, который считал теорию относительности «еврейской махинацией», хотя в своих докладах всячески камуфлировал националистические предрассудки. Наконец, большинство физиков, бывших в то время консультантами или членами шведской Королевской научной академии, были экспериментальными физиками, недолюбливавшими «спекулятивную софистику». Впрочем, Эйнштейн был не единственным физиком-теоретиком, кого академия держала в черном теле. В одной компании с ним оказались Планк и Борн.



## Слепая вера в авторитет — это худший враг истины.

Из письма Эйнштейна к Йосту Винтелеру

После апофеоза с затмением 1919 года бóльшее сомнение вызывал престиж самой Нобелевской премии, а не Эйнштейн. В конце концов шведы проявили свою вошедшую в поговорку дипломатичность и уступили — но теории относительности премия так и не досталась. Получалось, что Эйнштейн входит в историю за открытие закона фотоэффекта, а не за создание целой научной теории. Секретарь Королевской академии даже намеревался сформулировать специальную поправку, в которой говорилось, что в число научных достижений Эйнштейна теория относительности не включена и возможность ее подтверждения не принимается в расчет.

Когда Эйнштейну объявили о присуждении премии, он собирался в Японию и своей поездки по этому случаю не отменил. В Стокгольме он появился лишь в июле следующего года.

В то время как Планк, Бор и Гейзенберг работали над созданием основ квантовой механики, многие их соотечественники были вовлечены в другой большой эксперимент — политический. Можно было бы написать целую главу о травле Эйнштейна, которая развернулась в душной атмосфере нацистской Веймарской республики. Еврей по крови, он испытывал отвращение к немецкому национализму. Ученый отказался от немецкого гражданства, чтобы избежать службы в армии (хотя при приеме в Прусскую академию наук ему снова вручили повестку). Он был открытым пацифистом, противником Первой мировой войны и ярким защитником идеи интернационализма. Мало что можно к этому добавить.

Известность сделала Эйнштейна легкой мишенью. Инструментами преследования стали статьи в прессе, книги, памфлеты, речи и целые конференции. Было даже создано целое «противоэйнштейновское» общество — *Arbeitsgemeinschaft deutscher Naturforscher zur Erhaltung reiner Wissenschaft* (Сообщество немецких естествоиспытателей за сохранение чистой науки).

Дитрих Эккарт, один из духовных отцов национал-социализма, открыто выступал за убийство Эйнштейна. Ученый пытался сохранять спокойствие. «Вся проблема сводится к тому, что газеты постоянно упоминают мое имя, подстрекая таким образом сплетни против меня, — писал он Максу Планку. — Мне не остается другого выхода, кроме как уехать за границу и набраться терпения. Тебя я прошу только об одном: относись к этому небольшому происшествию как и я, с юмором».

Буря улеглась, но угроза сохранилась. По словам Макса Борна, под пеплом еще теплились «угли злобы, вспыхнувшие снова в 1933 году». Марсель, Коломбо, Сингапур, Гонконг, Шанхай, Кобо, Токио, Палестина, Барселона, Буэнос-Айрес, Рио-де-Жанейро, Монтевидео, Гавана, США — где только не побывали чемоданы Эйнштейна. Он словно стремился воскресить угасающие чувства к родине с помощью разлук, которые становились все дольше. Он действительно хотел сохранить связь с республикой и стать послом мира, чтобы наладить отношения Германии со странами-победительницами. Недаром он был одним из немногих немцев, не охваченных военным запалом 1914 года. А возможно, эти поездки помогли ему подготовиться к грядущему изгнанию.

Эйнштейн без конца перебирал аргументы за и против отъезда из Германии, разрываясь между одним и другим и находясь практически в том же «шизофреническом» состоянии, в котором существуют фотоны — одновременно волны и частицы. Летом 1932 года он увидел, что страна стоит на пороге «неотвратимой национал-социалистической революции», и события осени и зимы того года, приведшие Гитлера на пост канцлера, подтвердили его опасения. Уезжая из деревенского дома в окрестностях Берлина, он посоветовал Эльзе взглянуть на него в последний раз: «Больше ты его не увидишь».

К тому времени Эйнштейн, со своей славой и кочевническим образом жизни, уже стал гражданином мира. 10 декабря 1932 года пароход «Окленд» отдал швартовы в Бремерхафене и вышел в море, держась курса на Соединенные Штаты Америки — подальше от Пруссии и от немецкого национализма.

В следующем месяце был подожжен Рейхстаг. А вскоре вся Германия пылала в национал-социалистической лихорадке.



## Внутреннее изгнание

По мере того как творческая звезда Эйнштейна угасала, он становился все более важной публичной персоной. Ученый превратился в «патриарха», которого уважают и к чьему мнению прислушиваются, но от которого новые поколения ученых-физиков стремятся отмежеваться.

Однако Эйнштейн не унывал и в одиночку решил заняться не-квантовой теорией, способной устранить противоречия между электромагнетизмом и гравитацией.



Может быть, Эйнштейн и мечтал о научной славе, однако автором афоризмов о мире, Боге или свободе он вряд ли себя видел. В течение всего XX века, пока ученый стремился к тому, чтобы в нем видели физика, за ним прочно закрепилась репутация пацифиста, сиониста и беженца. Он прибыл в США большим ученым, а уехал оттуда настоящим идиолом. Где бы Эйнштейн ни появлялся, он вызывал симпатию и любовь — частично благодаря своей скромности и образу рассеянного гения, но еще и потому, что умел пользоваться славой во имя справедливости, поддерживая борьбу за ценности, которые многие считали утраченными. Конечно, некоторые думали, что активная гражданская позиция — совершенно лишнее качество для академика. Друг Эйнштейна, Макс фон Лауэ, укорял его: «Ну зачем тебе надо было лезть еще и в политику! Я не собираюсь критиковать твои идеи. Но мне кажется, что интеллектуалы должны держаться в стороне от всего этого. Политическая борьба идет по другим правилам и представляет собой совершенно иное явление, нежели научные исследования».

Наблюдая, как Европе сотрясают войны и идеологические бури, Эйнштейн решил, что доверять политикам равноценно коллективному самоубийству. Его публичные выступления вызывали ненависть у многих его бывших соотечественников, а когда ученый призвал не участвовать в охоте на ведьм, объ-

явленной в 1950-х годах сенатором Джозефом Маккарти, он наступил не на одну мозоль Соединенных Штатов. Эйнштейн не стал ни идеальным немцем, ни образцовым американцем, но всегда старался быть искренним в своих словах и поступках, даже рискуя вызвать недовольство.

16 октября 1933 года Альберт и Эльза после краткого посещения Европы снова прибыли в Нью-Йорк. На пятом десятке ученый должен был (в последний раз) привыкнуть к новому академическому центру — Институту перспективных исследований в Принстоне, с которым будет связана вся его дальнейшая работа. Эльза была восхищена архитектурой института: «Место здесь очаровательное, с совершенно английской атмосферой в стиле Оксфорда, но с бóльшим влиянием». Однако некоторые ученые считали Принстон интеллектуальным кладбищем, башней из слоновой кости, где дефицит общения с экспериментаторами и высокая преподавательская нагрузка душили всякое творчество.

По мере того как общественная роль Эйнштейна росла, физики все больше теряли интерес к его научной деятельности. Абрахам Пайс вспоминал, как растерялся, увидев великого физика в толпе перед началом конференции, посвященной частицам. Вероятно, подобное чувство испытал бы и сам Эйнштейн, если бы на одном из своих университетских занятий в Берне заметил Ньютона, отыскивающего свободное место.

Год за годом пытаясь соединить в одной теории гравитацию и электромагнетизм, Эйнштейн разработал геометрическую интерпретацию уравнений Максвелла — правда, оставив в стороне сильное и слабое ядерные взаимодействия. Однако его хитроумные схемы все равно не объясняли необычного поведения квантов: принцип неопределенности Гейзенберга никак не проявлял себя в уравнениях гравитационного поля.

Некоторые важные фрагменты мозаики, которую собирал ученый, не найдены и по сей день, однако в бóльшей степени его неудача объяснялась слабым интересом к ядерной физике. А она между тем становилась все важнее.



Меня здесь считают чем-то вроде ископаемого,  
которого годы сделали слепым и глухим.

Из письма Эйнштейна к Максу Борну

В середине июля 1939 года два венгерских физика, Лео Силард (1898–1964) и Юджин Вигнер (1902–1995), посетили Эйнштейна, который проводил лето в Нассау, в двух шагах от залива Пеконик. Силард был давним коллегой ученого — они вместе несколько лет работали над проектом коммерческой модели холодильника. Однако у этой встречи была другая причина — результаты бомбардировки нейтронами одного из изотопов урана ( $^{235}\text{U}$ ). При этом образуются более легкие элементы, такие как криптон и барий, а также два или три нейтрона, которые можно использовать для продолжения бомбардировки. В результате нейтронов при каждом попадании в цель становится все больше, ядра урана разрушаются и начинается цепная реакция, способная высвободить огромное количество энергии, которая может быть использована в самых разных целях. Силард и Вигнер подозревали, что Гитлер найдет открытие худшее из применений, тем более что крупные залежи урана находились в Чехословакии, которая была к тому времени оккупирована Третьим рейхом.

Многие считают, что формула  $E = mc^2$  была зерном, из которого выросла атомная бомба. Но сам Эйнштейн, выслушав Силарда, воскликнул: «Об этом я совершенно не думал!» Одно дело — обнаружить в материи концентрированные запасы энергии, и совсем другое — изобрести механизм для ее высвобождения. Превращение массы в энергию и обратно происходит в природе ежесекундно, и когда Эйнштейн в 1905 году вывел свою формулу, он совсем не думал о цепной реакции. Только через 27 лет после его открытия Джеймс Чедвик догадался о существовании нейтронов, и появилась ядерная физика. Идея об атомной бомбе на основе цепной реакции была ярко описана еще в романе Герберта Уэллса «Освобожденный мир» в 1914 году.

После совещания в Нассау Эйнштейн отправил письмо президенту Рузвельту, где советовал ему запастись ураном и поддерживать исследования физиков-ядерщиков. Поколебавшись, спустя два года Рузвельт запустил Манхэттенский проект. Произошло это в декабре 1941 года, ровно за день до бомбардировки Перл-Харбора.

Участие Эйнштейна в ядерной программе ограничилось разовой консультацией по вопросам отсеивания изотопов урана. Его неконформизм и социалистические взгляды раздражали как политиков, так и военных, и неблагонадежного ученого решили держать подальше от Манхэттенского проекта. Во второй раз Эйнштейн коснулся темы ядерного оружия лишь после бомбардировки Хиросимы.

#### **ФРАГМЕНТ ПИСЬМА ЭЙНШТЕЙНА РУЗВЕЛЬТУ ОТ 2 АВГУСТА 1939 ГОДА**

Сэр!

Некоторые недавние работы Ферми и Силарда, о которых мне сообщили, заставляют меня ожидать, что элемент уран может быть в ближайшем будущем превращен в новый и важный источник энергии. [...]

В течение последних четырех месяцев благодаря работам Жолио во Франции, а также Ферми и Силарда в Америке стала возможной ядерная реакция в крупной массе урана, вследствие чего может быть освобождена значительная энергия и получены большие количества радиоактивных элементов. Можно считать почти достоверным, что это будет достигнуто в ближайшем будущем.

Это явление способно привести к созданию ядерных бомб — исключительно мощных бомб нового типа. Одна такая бомба, доставленная на корабле и взорванная в порту, полностью разрушит весь порт с прилегающей территорией. [...]

Ввиду этого положения, не сочтете ли Вы желательным установление постоянного контакта между правительством и группой физиков, исследующих проблемы цепной реакции в Америке? [...]

Мне известно, что Германия в настоящее время прекратила продажу урана из захваченных чехословацких рудников. Такие шаги, возможно, станут понятными, если учесть, что сын заместителя германского министра иностранных дел фон Вейцекер прикомандирован к Институту кайзера Вильгельма в Берлине, где в настоящее время воспроизводятся американские эксперименты с ураном. [...]

Я не знаю, какое оружие будет использоваться  
в третьей мировой войне, но оружием четвертой  
будет каменный топор.

Из интервью 1949 года

В тот момент Эйнштейн вспомнил о своих советах Рузвельту: «Если бы я знал, что немцы не сумеют изобрести атомную бомбу, я бы и пальцем не пошевелил». Примерно в то же время он написал Силарду: «Невозможно предугадать все последствия наших поступков, потому-то мудрецы и посвящают свою жизнь исключительно созерцанию». Но трагедия уже произошла, и Эйнштейн не стал уходить в созерцание. Он с детства испытывал отвращение к национализму. Атомная бомба в сочетании с близоруким патриотизмом правительств гарантировала, по его мнению, развязывание войны настолько опустошительной, что она может произойти в истории человечества лишь единожды. Ученый использовал каждую возможность, чтобы публично говорить о необходимости разоружения, пацифизме и создании наднациональной политики, которая обеспечивала бы контроль за ядерной энергией. Ученый вновь хотел создать единую систему, однако в этот раз не в области физики, а в международной политике. Если фундаментальные силы природы могли действовать согласованно, то, возможно, и народы сумели бы передать часть своего суверенитета институту, объединяющему всех.

## КОНЕЦ

Физика Эйнштейна постепенно уходила в прошлое, как и прежняя жизнь. Эльза не дожила до Рождества 1936 года — у нее случился инфаркт. Милева умерла летом 1948 года от инсульта. Сестра ученого, Майя, скончалась от пневмонии 25 июня 1951 года, Мишель Бессо — от тромбоза 15 марта 1955-го. Хотя Эйнштейну и нравилось говорить о своем стремлении к одино-

честву, в действительности это было не так. Он постоянно заботился о немецких беженцах и тяжело переносил сужение круга друзей и близких. Чтобы снизить остроту переживаний, ученый с головой ушел в работу. Однажды близкий друг Пауль Эренфест упрекнул Эйнштейна в том, что ему никто не нужен, на что он возмущенно ответил: «Мне нужна твоя дружба так же, а может быть, и больше, чем тебе моя».

Он осознавал, что с годами его способности слабели, и сосредоточился на «геометризации» физики. Наука стала самой первой и самой долгой страстью Эйнштейна, привлекавшей его до конца дней. Каждое утро ученый входил в свой кабинет в Принстоне с набросками новых уравнений, сделанными накануне ночью.

Вечером 13 апреля 1955 года Альберт Эйнштейн почувствовал внезапный упадок сил. Аневризма брюшной аорты угрожала его здоровью в течение семи лет, и теперь сосуд не выдержал, произошло внутреннее кровоизлияние. Несмотря на сильные боли, ученый отказался от операции: «Я хочу уйти тогда, когда придет время. Продлевать жизнь искусственно мне кажется дурным тоном. Свою задачу на земле я выполнил. Пришел мой час, и я уйду достойно». В пятницу его убедили поехать в принстонский госпиталь, чтобы хотя бы снять болевой синдром. Через некоторое время организм ученого сдался окончательно.

Ганс Альберт, старший сын Эйнштейна, преподаватель гидравлики в Университете Беркли, пересек всю страну, чтобы увидеть отца. Их отношения в течение жизни были разными, однако после воссоединения в США все недоразумения остались позади. Рана, нанесенная Гансу Альберту разводом родителей, зажила, хотя шрам на ее месте остался. Проститься с младшим сыном Эйнштейну не удалось. Когда Эдуарду было 20 лет, врачи поставили ему диагноз «шизофрения», и отец-ученый был уверен, что потерял сына навсегда. Он беспокоился за юношу, проходившего лечение в швейцарской клинике, справлялся о нем у родственников и друзей, но так и не смог наладить контакт с ним.

Для человека, побежденного возрастом, смерть является избавлением. Именно это я ощущаю со всей ясностью — теперь, когда сам я состарился и перестал считать смерть старым долгом, который в конце концов придется заплатить.

Из письма Эйнштейна к Герхарду Фанкхаузеру,  
профессору биологии Принстонского университета

У Эйнштейна была «аллергия» на торжественность и пышность, и он не захотел стать главным героем похоронной церемонии. По его воле тело было кремировано, а пепел развеян по ветру. Перед смертью он в последний раз невольно посмеялся над всеми: свои последние слова он прошептал ночной медсестре по-немецки, и та не поняла ни единого слова и не сохранила их для истории.

Альберт Эйнштейн умер на рассвете 18 апреля 1955 года. Рядом с ним нашли листки с обрывками уравнений, которые он успел нацарапать карандашом.

## НАУКА ПОСЛЕ ЭЙНШТЕЙНА

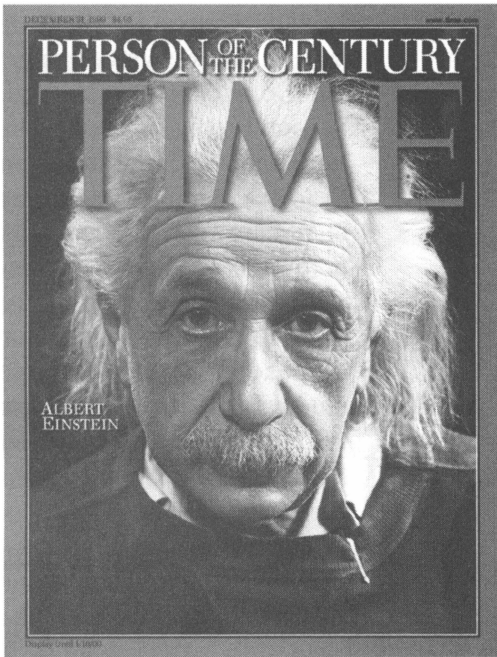
Постулаты теории относительности стали неотъемлемой частью всех отраслей физики. Она смогла примириться даже с квантовой механикой. Более того, в союзе с ней было предсказано существование таких явлений, как позитроны (братья-близнецы нейтронов с положительным зарядом), вскоре обнаруженные в космическом излучении. Как мы видели, после открытия формулы  $E = mc^2$  ядерная физика испытала резкий подъем. Ранее косвенное подтверждение эквивалентности массы и энергии было получено в 1932 году при изучении распада ядра лития при бомбардировке протонами. В 2005 году уравнение Эйнштейна было подвергнуто строгой проверке. В ходе одного из опытов один из самых обыкновенных изотопов серы ( $^{32}\text{S}$ ) подвергся нейтронной бомбардировке. В результате образовался другой устойчивый изотоп ( $^{33}\text{S}$ )

в возбужденном состоянии, который при переходе обратно в состояние равновесия испустил фотон высоких энергий ( $\gamma$ ). Уравнение этой реакции выглядит как:  $n + {}^{32}\text{S} \rightarrow {}^{33}\text{S} + \gamma$ . Рассчитав соотношение масс до и после реакции с учетом энергии фотона, исследователи подтвердили формулу  $E = mc^2$  с точностью до 0,00004 %.

Замедление времени, увеличение массы и пространственное сжатие сегодня являются обычными явлениями в работе ускорителя заряженных частиц. Этот аппарат поглощает такое количество электричества, что его хватило бы на целый город. При этом высвобождаются огромные объемы энергии, которая превращается в тяжелые частицы — такие нестабильные, что они едва проживают одну миллионную долю секунды.

По сей день общая теория относительности остается самой успешной теорией гравитации, однако это взаимодействие невозможно долго держать в стороне от родственных ей теорий электромагнитного взаимодействия, сильного и слабого ядерных взаимодействий, которые уживаются под крылом квантовой теории поля — счастливого союза специальной теории относительности и квантовой механики. Объединение всех четырех сил в рамках одной концепции — «теории всего», или «окончательной теории» — стало навязчивой идеей современных физиков. И самыми перспективными исследованиями в свете этого желания кажутся различные теории струн, рисующие картину мира с дополнительными измерениями. Если эти исследования в конце концов себя оправдают, наше представление о принципе относительности значительно изменится.

Принцип относительности управляет звездами и галактиками, квантовой механикой, атомами и кварками. Предполагается, что точка, в которой совпадают эти области, порождая весь спектр разнообразных необычных явлений, соответствует так называемой планковской длине — около  $10^{-35}$  м. Речь идет о расстоянии столь малом, что его невозможно себе представить, оно примерно равно диаметру спирали ДНК. Для того чтобы узнать, что происходит в этом масштабе, необходима энергия порядка  $10^{16}$  ТэВ (около 500 кВт·ч).



ФОТОГРАФИЯ ВВЕРХУ  
СЛЕВА:  
Эйнштейн в своей  
70-й день рождения  
в окружении детей-  
беженцев.

ФОТОГРАФИЯ ВВЕРХУ  
СПРАВА:  
Обложка журнала  
Time за декабрь  
1999 года. В этом  
выпуске Эйнштейн  
был назван  
величайшим  
мыслителем  
XX века.

ФОТОГРАФИЯ ВНИЗУ:  
В газете  
объявляется  
о смерти  
Эйнштейна.

**New York World-Telegram and Sun**

Local, Foreign, Maritime, Sporting, Financial, and General News. Vol. 122—No. 199—Monday, April 24, 1955. Five Cents.

# DR. EINSTEIN IS DEAD AT 76

## Kindergarten Tots to Get Free Vaccine

City Adds \$4,000 To First Program

Some 65,000 kindergarten children will get free diphtheria vaccine shots this spring as a result of a decision made today in Board of Education policy.

In spite of the continued gloom in the city and the fact that the city would have to spend \$4,000 more to pay for the vaccine, the Board of Education decided that the vaccine should be given to all children in the city.

The vaccine is a new one, and it is believed that it will protect children from the disease. The vaccine is a new one, and it is believed that it will protect children from the disease.

## Baseball NATIONAL LEAGUE

Pirates	000010002	3	90
Braves	20100010	12	151
Innings: Cincinnati, 7; Pittsburgh, 10; Braves, 10; Pirates, 10.			

## Results at Jamaica

1—Hed My (Cincinnati).....	120	250
2—Hed My (Cincinnati).....	120	250
3—Hed My (Cincinnati).....	120	250
4—Hed My (Cincinnati).....	120	250
5—Hed My (Cincinnati).....	120	250
6—Hed My (Cincinnati).....	120	250
7—Hed My (Cincinnati).....	120	250
8—Hed My (Cincinnati).....	120	250
9—Hed My (Cincinnati).....	120	250
10—Hed My (Cincinnati).....	120	250

## Giants Crush Pirates

## Reds Blasted As Bandung Talks Begin

Free Vietnam, Head Open Fire

HO CHI MINH, April 24—(AP)—Free Vietnam strongly condemned today the opening session of the Geneva talks on Indo-China, saying the talks were a "disaster."

The talks were held in the city of Bandung, Indonesia, and were attended by representatives of the United States, France, the United Kingdom, and the Soviet Union.

## Burst Artery Proves Fatal To Physicist

Father of Atom Age Passes at Princeton

By EDWARD KILPATRICK

Albert Einstein, hailed by many as the greatest genius of all time, died today at 76, today at Princeton Hospital in Princeton, N. J., at 10.

Dr. Einstein was born in Ulm, Germany, on March 14, 1879. He was a Jewish man, and he was a pacifist. He was a great man, and he was a great man.

Dr. Einstein was a great man, and he was a great man. He was a great man, and he was a great man. He was a great man, and he was a great man.

Большой адронный коллайдер в Женеве (ЦЕРН), самый мощный ускоритель частиц в мире, работает с энергиями до 7 ТэВ.

Возможно, что в планковской шкале пространство-время перестанет быть непрерывным и раздробится, а его квантовая природа вызовет нарушение релятивистских законов. Вероятно, что в столь малых масштабах частицы смогли бы проявить свою струнную структуру, а гравитация отразилась бы в других взаимодействиях. Однако сегодня эта область недоступна нашим возможностям, и это положение сохранится еще не один год. Впрочем, физики не сдаются на милость будущего и продолжают вглядываться в окружающее нас пространство в поисках малейшего знака, способного выдать секреты архитектуры глубинных уровней бытия.

#### НА ВОЛНЕ

В 1918 году Эйнштейн, чтобы отвлечься от желудочного недомогания, задумался о вопросе, к которому уже подходили в свое время Лоренц и Пуанкаре, — существовании гравитационных волн. Отклонение в одной точке электромагнитного поля сообщается остальным точкам с помощью электромагнитных волн. Произойдет ли то же самое с геометрической деформацией зоны пространства-времени (изменение в распределении масс)? Гравитационные волны, если они существуют, практически не взаимодействуют с материей. В отличие от света, который воздействует на электрические заряды, эти волны задействовали бы массы. По словам швейцарского физика Даниеля Сигга, поддающиеся наблюдению эффекты малы «не потому, что испускаемая энергия невелика, — наоборот, она огромна, — а потому, что пространство-время является жесткой средой». Электромагнитное излучение разлетается в пространстве, но в случае гравитационных волн вибрацию испытала бы сама пространственно-временная ткань. Считается, что постепенное уменьшение периода вращения двух нейтронных звезд, движущихся одна вокруг другой в созвездии Орла, может быть косвенным доказательством существования волн. Если искажение пространственно-временной ткани и передается в форме гравитационных волн, мы пока не в состоянии их измерить. Однако этот факт привел бы к таким потерям энергии, которые заставили бы звезды сблизиться, — что и наблюдается. Прогнозируемая с помощью волновой теории эволюция системы совпадает с наблюдениями астрономов.



В доступном нам спектре энергий теория относительности выдержала все испытания, которым ее подвергли. Сложно оспаривать гипотезу Эйнштейна, учитывая, насколько тонко она корректирует теорию Ньютона. В свою очередь, улучшение теории относительности — настоящий вызов для экспериментаторов и исследователей. В течение долгого времени общая теория относительности считалась раем для физиков-теоретиков и чистилищем для физиков-экспериментаторов. Однако в последние десятилетия ситуация изменилась.

В 1962 году Ирвин Шапиро предложил «четвертое доказательство общей теории относительности», объединившее три классические теории Эйнштейна. Оно состоит в том, что электромагнитная волна не только испытывает отклонение вблизи тела с очень большой массой, например звезды, но и сама ее траектория в четырехмерном (включая временное измерение) пространстве нарушается, и при движении она начинает опаздывать. Это происходит не потому, что искривленная траектория длиннее, чем прямая, а по вине чисто релятивистского эффекта. Чтобы его зафиксировать, Шапиро разработал эксперимент, для которого требовалось дожидаться парада планет, Венеры или Марса: с точки зрения наблюдателя на Земле одна из планет должна была находиться на одной линии с Солнцем, располагаясь позади него. Перед самым выходом из этой позиции с Земли посылался радиосигнал, отражающийся от планеты. Путь сигнала от Земли и обратно занял бы больше времени, чем когда между планетами нет Солнца. Несмотря на амбиции Шапиро («Было бы неплохо доказать, что Эйнштейн ошибался»), результат опыта подтвердил теорию относительности.

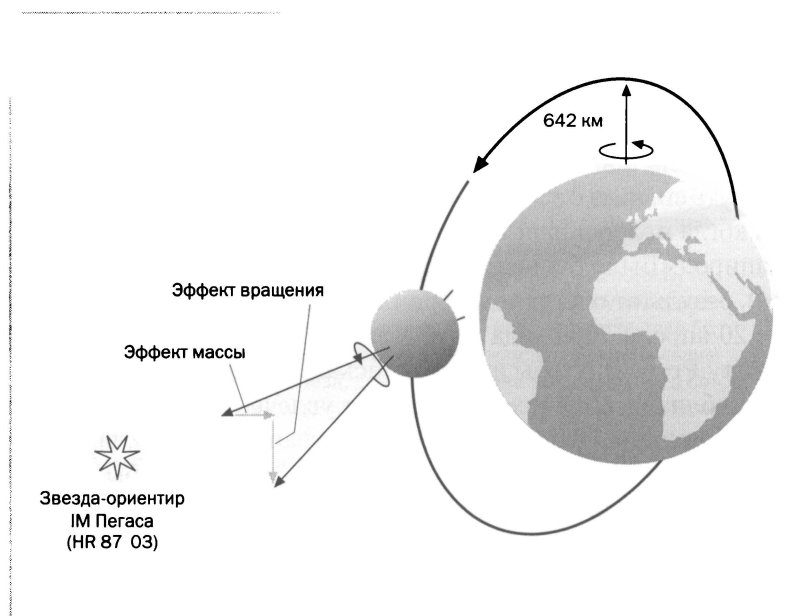
20 апреля 2004 года НАСА запустило на орбиту спутник Gravity Probe B, чтобы измерить искажение пространства-времени вблизи массы Земли и эффект увлечения инерциальных систем отсчета. В ньютоновском пространстве сфера, вращающаяся в 600 км от земной поверхности, сохранила бы ориентацию своей оси в одном направлении. Однако эйнштейнова четырехмерная пространственная ткань сообщила бы сфере искривления Земли, и ось потихоньку начала бы смещаться. Датчик Gravity Probe B в течение года фиксировал изменение

осей вращения четырех практически идеальных кварцевых сфер, сориентированных в начале опыта на звезду в созвездии Пегаса.

Чувствительность датчиков позволяла обнаружить изменения в угле наклона оси, сравнимые с толщиной волоса, если смотреть на него с расстояния 32 км. Окончательные результаты были опубликованы в мае 2011 года, когда руководитель проекта и сотрудник Стэнфордского университета Фрэнсис Эверитт сделал следующее заявление: «Мы провели этот важнейший опыт, чтобы подвергнуть испытанию модель мира, созданную Эйнштейном. И Эйнштейн прошел это испытание».

Столетие спустя после открытия теория относительности вошла, наконец, в нашу жизнь. GPS-устройства определяют наше местонахождение, обрабатывая данные со спутников. Для того чтобы информация была точной, часы на орбите и часы на Земле должны быть синхронизованы. Если мы хотим уточнить наше положение в пределах 30 м, нужно помнить о двух релятивистских поправках. Во-первых, необходимо учесть за-

Миссией спутника Gravity Probe B, запущенного на орбиту в 2004 году, было обнаружение воздействия массы и вращения нашей планеты на пространство-время. Спутник был оборудован четырьмя гироскопами, ориентированными в качестве контрольной точки на звезду IM Пегаса. Изменения в положении осей гироскопов доказали экспериментальную гипотезу.



паздывание сигнала (7 микросекунд), вызванное скоростью спутника и описанное специальной теорией относительности, а во-вторых, его опережение (45 микросекунд), описанное общей теорией относительности и вызванное тем, что время течет тем быстрее, чем меньше плотность гравитационного поля (обратный эффект запаздывания, вызывающий сдвиг к красному спектру). Гравитация на высоте 20 000 км, на спутниковой орбите, слабее, чем на поверхности Земли. В новых системах позиционирования эти фазовые сдвиги нивелируются.

Главный удар по теории относительности был нанесен в сентябре 2011 года заявлением о предполагаемом выходе за пределы скорости света. Нейтрино, генерируемые в Большом адронном коллайдере, пронзили земную кору, достигнув подземных детекторов под самым высоким пиком Апеннинских гор — Гран-Сассо, в 100 км от Рима. После соответствующих расчетов экспериментаторы пришли к выводу, что нейтрино пришли на 60 наносекунд раньше времени. Эта новость была сообщена с большой осторожностью и воспринята с огромным скепсисом — особенно после того, как были обнаружены неполадки в механизме, синхронизирующем хронометры ЦЕРН и Гран-Сассо. В июне 2012 года ученые подтвердили, что опережение частиц было ошибкой измерения.

Но даже если предположить, что нейтрино пробили брешь в старой физике, теория относительности все еще сильна. Серия других экспериментов подтвердила базовые принципы теории с точностью, которую можно было бы назвать миллиметровой даже говоря о расстоянии от Земли до Луны. Идеи теории относительности вошли в плоть и кровь науки, и их следы останутся в ней навсегда. Точно так же, как ньютоновская физика находит свое применение, когда речь идет о скоростях, малых по сравнению со скоростью света, и о слабых гравитационных полях, физика Эйнштейна останется на отвоеванной территории.

Наука — словно шлифовальный станок: с каждым годом она добирается до все более точного описания мира. В идеях Ньютона угадывается сегодняшняя физика, а квантовые и ре-

лятивистские теории позволяют рассмотреть все больше любопытных и неожиданных деталей. Кто знает, каким будет лицо физики через несколько десятков лет? Однако, вне всяких сомнений, эйнштейновские время, пространство и гравитация все так же будут озарены светом новых открытий.

## Список рекомендуемой литературы

- BERNSTEIN, J., *Einstein: el hombre y su obra*, Madrid, McGraw-Hill, 1992.
- BORN, M. Y BORN, H., *Ciencia y conciencia en la era atómica*, Madrid, Alianza, 1971.
- EINSTEIN, A., *La gran ilusión: las grandes obras de Albert Einstein*, Hawking, Stephen (ed.), Barcelona, Crítica, 2010.
- ISAACSON, W., *Einstein. Su vida y su universo*, Barcelona, Debate, 2008.
- KAKU, M., *El universo de Einstein*, Barcelona, Antoni Bosch, 2005.
- LANDAU, L. Y RUMER, Y., *¿Qué es la teoría de la relatividad?*, Madrid, Akal, 1995.
- PAIS, A., *El señor es sutil: la ciencia y la vida de Albert Einstein*, Barcelona, Ariel, 1984.
- PENROSE, R., ET AL., *Fórmulas elegantes. Grandes ecuaciones de la ciencia*, Farmelo, Graham (ed.), Barcelona, Tusquets, 2004.
- PYENSON, L., *El joven Einstein: el advenimiento de la relatividad*, Madrid, Alianza, 1990.
- RUIZ DE ELVIRA, A., *Cien años de relatividad. Los artículos clave de Albert Einstein de 1905 y 1906*, Tres Cantos, Nivola, 2003.
- SÁNCHEZ RON, J.M., *El origen y desarrollo de la relatividad*, Madrid, Alianza Universidad, 1983.
- THORNE, K.S., *Agujeros negros y tiempo curvo: el escandaloso legado de Einstein*, Barcelona, Crítica, 1995.



## Указатель

- «К электродинамике движущихся тел» 13, 46, 50, 62, 63, 75, 78, 81, 88  
 $E = mc^2$  8, 13, 81–82, 159, 164  
GPS 12, 168  
Gravity Probe B 168  
Адлер, Фридрих 48, 88  
Академия наук Прусская 89, 141, 151  
Ампер, Андре-Мари 25, 27, 30, 34  
Бальмер, Иоганн Якоб 142  
Бернский университет 87–91, 158  
Бернское патентное бюро 13, 39, 48, 50, 84, 88, 89, 91, 100  
Бернштейн, Арон 22  
Бессо, Мишель Анжело 42, 47, 50, 88, 93, 161  
Бозе, Шатьендранат 147  
Бор, Нильс 11, 121, 139, 142–144, 149, 150  
Борн, Макс 11, 63, 118, 142, 149, 150–152, 159  
Броун, Роберт 49  
Вайнберг, Стивен 11  
Вебер, Генрих 36, 37, 41, 42, 61  
Вейль, Герман 121  
Вейман, Рей 137  
Вигнер, Юджин 159  
Винтелер, Йост 38, 151  
Волна гравитационная 166  
Вольга, Алессандро 23  
Время собственное 109, 111  
Высшее политехническое училище Цюриха 13, 36–38, 41, 43, 44, 48  
Галилей 50–59, 64, 75, 78, 83, 96, 97  
Гамов, Георгий 110, 139  
Гаусс, Карл Фридрих 103–108  
Гейзенберг, Вернер 11, 142, 144–151  
Геометрия  
    дифференциальная 103, 104  
    евклидова 20, 107  
    неевклидова 100, 103  
Герц, Генрих 33, 59  
Гильберт, Давид 85, 116–121, 132  
Гроссман, Марсель 42, 48, 100, 103  
Гурвиц, Адольф 36, 116  
Дайсон, Фримен 30, 136  
Движение броуновское 13, 49, 50  
Деление ядра 159  
Дирак, Поль 11, 140

- Длина  
     волны 32, 33, 148  
     планковская 166  
 Дыра черная 135, 136  
 Дэви, Хамфри 24  
 Евклид 10, 20, 63  
 Закон всемирного тяготения 23,  
     25, 56, 97, 98  
 Замедление времени 77, 112, 164  
 Зоммерфельд, Арнольд 118  
 Излучение вынужденное 147  
 Индукция электромагнитная 27,  
     62  
 Искривление 100, 101, 105, 107,  
     108, 111, 113, 114, 116, 120, 128,  
     130, 133, 136, 146  
 Карлов университет 89  
 Карсвелл, Роберт 137  
 Кауфлер, Элен 47  
 Кляйн, Феликс 118, 119  
 Комптон, Артур 142  
 Конденсат Бозе — Эйнштейна 147  
 Космологическая константа  
     138–140  
 Кох, Паулина 13  
 Кроммелин, Эндрю 128, 130  
 Кулон, Шарль Огюстен 23, 25, 27,  
     30, 34  
 Леверье, Урбен 120  
 Ленард, Филипп 147, 151  
 Линия геодезическая 101–103,  
     109, 111, 114, 149  
 Лоренц, Хендрик 57–59, 61, 62  
 Лоренцево сжатие 73, 74, 77, 97,  
     112  
 Майкельсон, Альберт 60, 61  
 Маккарти, Джозеф 8, 158  
 Максвелл, Джеймс Клерк 22, 29–  
     34, 42, 50, 56, 57, 59, 141  
 Мандл, Руди 137  
 Марич, Милева 8, 13, 38, 43–48, 84,  
     89–94, 125–127, 161  
 Метрическая функция 105, 106,  
     107, 109, 111, 114  
 Минковский, Герман 36, 108–114,  
     116, 117, 121  
 Морли, Эдвард 60, 61  
 Нернст, Вальтер 141  
 Нётер, Эмми 47  
 Ньютон, Исаак 12, 15, 23, 25, 26,  
     28, 50, 55, 56, 64, 75, 76, 78, 83,  
     96, 97, 98, 103, 120, 127, 128,  
     132, 138, 149, 158, 167, 168, 169  
 Общая теория относительности  
     10, 11, 13, 34, 47, 77, 78, 88, 94,  
     95, 108, 113, 114, 117, 120, 121,  
     125, 126, 132, 135, 149, 164, 167,  
     169  
 Окончательная теория 10, 164  
 Оствальд, Вильгельм 84  
 Паули, Вольфганг 11  
 Перрен, Жан 49  
 Планк, Макс 11, 63, 82, 87, 141,  
     142, 145, 151, 152  
 Поле электромагнитное 22, 31, 37,  
     121, 141, 166  
 Преобразование  
     Галилея 53–57, 58, 75  
     Лоренца 58, 59, 63, 64, 72, 75,  
     76, 78  
 Принстонский институт  
     перспективных исследований  
     13, 158, 163, 165  
 Принцип  
     неопределенности 146, 149,  
     150, 158  
     эквивалентности сил  
         гравитации и инерции  
         94–100, 108  
 Пространство-время 5, 58, 85, 91,  
     108, 109, 111, 113, 115, 133, 136,  
     166–168  
 Пуанкаре, Анри 61, 62, 166  
 Резерфорд, Эрнест 142



Риман, Бернхард 103, 104, 107  
 Рузвельт, Франклин Д. 13, 160, 161  
 Савич, Элен 90  
 Силард, Лео 159–161  
 Смещение красное 132, 133, 135, 169  
 Сноу, Чарльз Р. 11  
 Соловин, Морис 47  
 Специальная теория  
     относительности 9, 10, 11, 13, 37, 39, 41, 46, 50, 62, 77, 97, 108, 109, 113, 116, 146, 163, 164, 169  
 Струн, теория 78, 164, 166  
 Тэлмей, Макс 22, 48  
 Тяготение 9, 10, 11, 25, 33, 65, 83, 85, 94–100, 113, 118, 120, 123, 127, 128  
 Уилер, Джон 113, 114, 135  
 Университет Гёттингенский 94, 116–119  
 Уолш, Деннис 137  
 Уравнения Максвелла 30, 31, 33, 37, 56, 57, 59, 61, 62, 64, 75, 158  
 Уэллс, Герберт Джордж 159  
 Фарадей, Майкл 24, 27, 28–31, 34, 35, 50  
 Фейнман, Ричард 11  
 Ферми, Энрико 160  
 Физо, Ипполит 31  
 фон Гумбольдт, Александр 22  
 фон Зольднер, Йохан Георг 127, 128  
 Фон Лауэ, Макс 157  
 Фотон 142–144, 146–149, 164  
 Фотоэффект 9, 13, 147, 150, 151  
 Франк, Филипп 47  
 Фрейндлих, Эрвин 128, 132  
 Фридман, Александр 139  
 Фуко, Леон 31  
 Хаббл, Эдвин 139  
 Цюрихский университет 13, 85, 88, 89  
 Частота 32, 135, 146, 147  
 Чедвик, Джеймс 159  
 Чизхольм, Грейс 46  
 Шапиро, Эрвин 167  
 Шварцшильд, Карл 133, 135, 136  
 Шрёдингер, Эрвин 11, 140  
 Эверитт, Фрэнсис 168  
 Эддингтон, Артур Стенли 13, 128–130, 138  
 Эйнштейн  
     Ганс Альберт 13, 45, 93, 162  
     Герман 13, 17–22, 34, 43, 83, 84, 92, 108, 116, 121  
     Лизерль 8, 13  
     Мария (Майя) 20  
     Эдуард 8, 13, 45, 83, 90, 93, 100, 162  
     Эльза 13, 91, 92, 93, 125, 126, 152, 158, 161  
     Якоб 17, 20, 21, 22, 34, 37, 48, 83  
 Эренфест, Пауль 128, 162  
 Эрстед, Ганс Кристиан 23, 25, 27, 30, 31, 33, 34  
 Эфир 29, 59–63

**Наука. Величайшие теории**  
**Выпуск № 1, 2015**  
**Еженедельное издание**

**РОССИЯ**

**Издатель, учредитель, редакция:**  
ООО «Де Агостини», Россия  
**Юридический адрес:** Россия, 105066,  
г. Москва, ул. Александра Лукьянова,  
д. 3, стр. 1

*Письма читателей по данному адресу  
не принимаются.*

**Генеральный директор:**  
Николаос Скилакис  
**Главный редактор:** Анастасия Жаркова  
**Старший редактор:** Дарья Клинт  
**Финансовый директор:**  
Полина Быстрова  
**Коммерческий директор:**  
Александр Якутов  
**Менеджер по маркетингу:**  
Михаил Ткачук  
**Младший менеджер по продукту:**  
Ольга МакГро

**Для заказа пропущенных выпусков  
и по всем вопросам, касающимся ин-  
формации о коллекции, обращайтесь  
по телефону бесплатной горячей линии  
в России:**

☎ 8-800-200-02-01

**Телефон «горячей линии» для читате-  
лей Москвы:**

☎ 8-495-660-02-02

**Адрес для писем читателей:**  
Россия, 600001, г. Владимир, а/я 30,  
«Де Агостини», «Наука. Величайшие  
теории»

*Пожалуйста, указывайте в письмах  
свои контактные данные для обратной  
связи (телефон или e-mail).*

**Распространение:** ООО «Бурда Дис-  
трибьюшен Сервисиз»

Свидетельство о регистрации СМИ  
в Федеральной службе по надзору  
в сфере связи, информационных тех-  
нологий и массовых коммуникаций  
(Роскомнадзор) ПИ № ФС77-56146  
от 15.11.2013

**УКРАИНА**

**Издатель и учредитель:**  
ООО «Де Агостини Пабблишинг»,  
Украина  
**Юридический адрес:**  
01032, Украина, г. Киев, ул. Саксаган-  
ского, 119  
**Генеральный директор:**  
Екатерина Клименко

**Для заказа пропущенных выпусков  
и по всем вопросам, касающимся ин-  
формации о коллекции, обращайтесь  
по телефону бесплатной горячей линии  
в Украине:**

☎ 0-800-500-8-40

**Адрес для писем читателей:**

Украина, 01033, г. Киев, а/я «Де Аго-  
стини», «Наука. Величайшие теории»  
Україна, 01033, м. Київ,  
а/с «Де Агостіні»  
Свидетельство о регистрации печатно-  
го СМИ Государственной регистраци-  
онной службой Украины КВ № 20525-  
10325Р от 13.02.2014

**БЕЛАРУСЬ**

**Импортер и дистрибьютор в РБ:**

ООО «Росчерк», 220037, г. Минск,  
ул. Авангардная, 48а, литер 8/к,  
тел./факс: + 375 (17) 331 94 41

**Телефон «горячей линии» в РБ:**

☎ + 375 17 279-87-87

(пн-пт, 9.00 – 21.00)

**Адрес для писем читателей:**

Республика Беларусь, 220040, г. Минск,  
а/я 224, ООО «Росчерк», «Де Агости-  
ни», «Наука. Величайшие теории»

**КАЗАХСТАН**

**Распространение:**

ТОО «КГП «Бурда-Алатау Пресс»

Издатель оставляет за собой право из-  
менять розничную цену выпусков. Из-  
датель оставляет за собой право изме-  
нять последовательность выпусков и их  
содержание.

**Отпечатано в соответствии  
с предоставленными материалами  
в типографии: Grafica Veneta S.p.A  
Via Malcanton 2**

**35010 Trebaseleghe (PD) Italy**

Формат 70 x 100 / 16.

Гарнитура Petersburg

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Печ. л. 5,5. Усл. печ. л. 7,128

Тираж: 231 700 экз.

© David Blanco Laserna, 2012 (текст)

© RBA Coleccionables S.A., 2012

© ООО «Де Агостини», 2014–2015

ISSN 2409-0069



Данный знак информационной  
продукции размещен в соответствии  
с требованиями Федерального закона  
от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ «О за-  
щите детей от информации, причиняю-  
щей вред их здоровью и развитию».

Коллекция для взрослых, не подлежит  
обязательному подтверждению соот-  
ветствия единым требованиям уста-  
новленным Техническим регламентом  
Таможенного союза «О безопасности  
продукции, предназначенной для де-  
тей и подростков» ТР ТС 007/2011  
от 23 сентября 2011 г. № 797

*Дата выхода в России 06.01.2015*

Альберт Эйнштейн — один из самых известных людей прошлого века. Отгремело эхо той бурной эпохи, в которую ученому выпало жить и творить, эхо мировых войн и ядерных атак, но его гениальные открытия и сегодня не потеряли остроты: закон взаимосвязи массы и энергии, выраженный знаменитой формулой  $E = mc^2$ , поистине пионерская квантовая теория и особенно теория относительности, навсегда изменившая наши, до того столь прочные, представления о времени и пространстве.

ISSN 2409-0069



00001



9 772409 006990

Scan: Gencik