

ИДЕИ, КОТОРЫЕ
ИЗМЕНИЛИ МИР

Альберт Эйнштейн

и его
**ТЕОРИЯ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

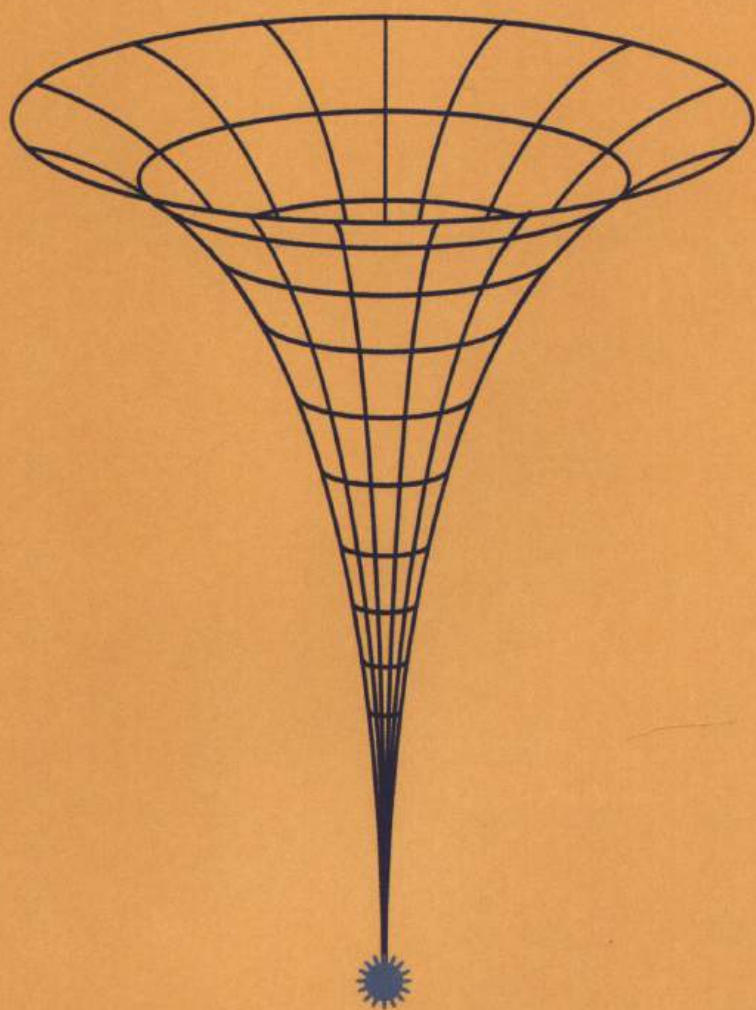
Карл Уилкинсон
Иллюстрации
Джеймса Уэстона Льюиса



ИДЕИ, КОТОРЫЕ
ИЗМЕНИЛИ МИР

Альберт Эйнштейн
и его

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ



Карл Уилкинсон

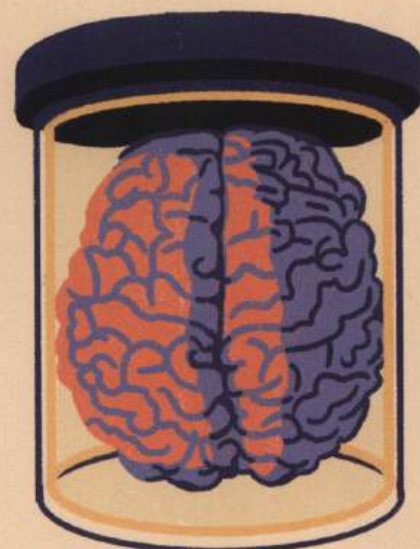


Москва
«Лабиринт Пресс»
2022

Иллюстрации Джеймса Уэстона Льюиса
Перевод с английского Константина Вантуха

СОДЕРЖАНИЕ

- 4 • КТО ТАКОЙ АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН?
- 6 • ГРАВИТАЦИЯ
- 9 • ВРЕМЯ
- 10 • ПРОСТРАНСТВО
- 12 • СВЕТ
- 14 • ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ
- 16 • 1905-й — «ГОД ЧУДЕС» ЭЙНШТЕЙНА
- 18 • ЧЕТЫРЕ СТАТЬИ: ЧАСТЬ I
- 20 • ЧЕТЫРЕ СТАТЬИ: ЧАСТЬ II
- 22 • СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ВВЕДЕНИЕ, ЧАСТЬ I
- 24 • СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ВВЕДЕНИЕ, ЧАСТЬ II
- 26 • ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ
- 28 • ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ
- 30 • СОКРАЩЕНИЕ ДЛИНЫ
- 33 • ЧЕТЫРЁХМЕРНАЯ ВСЕЛЕННАЯ
- 34 • $E = mc^2$
- 36 • ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ВВЕДЕНИЕ, ЧАСТЬ I
- 38 • ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
ВВЕДЕНИЕ, ЧАСТЬ II
- 41 • СТРАННЫЕ ОТКРЫТИЯ ЭЙНШТЕЙНА
- 42 • ФОРМА ВСЕЛЕННОЙ
- 44 • ЕСТЬ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА!
- 46 • ПУБЛИКАЦИЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
- 49 • ЭЙНШТЕЙН — ЗНАМЕНИТОСТЬ
- 50 • 1921 ГОД — НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ
- 52 • ИДЕИ ЭЙНШТЕЙНА В ДЕЙСТВИИ
- 56 • ЧТО НАМ ИЗВЕСТНО СЕГОДНЯ: ЧАСТЬ I
- 59 • ЧТО НАМ ИЗВЕСТНО СЕГОДНЯ: ЧАСТЬ II
- 60 • ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ — ПЛАНЫ
НА БУДУЩЕЕ
- 62 • СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ



КТО ТАКОЙ АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН?

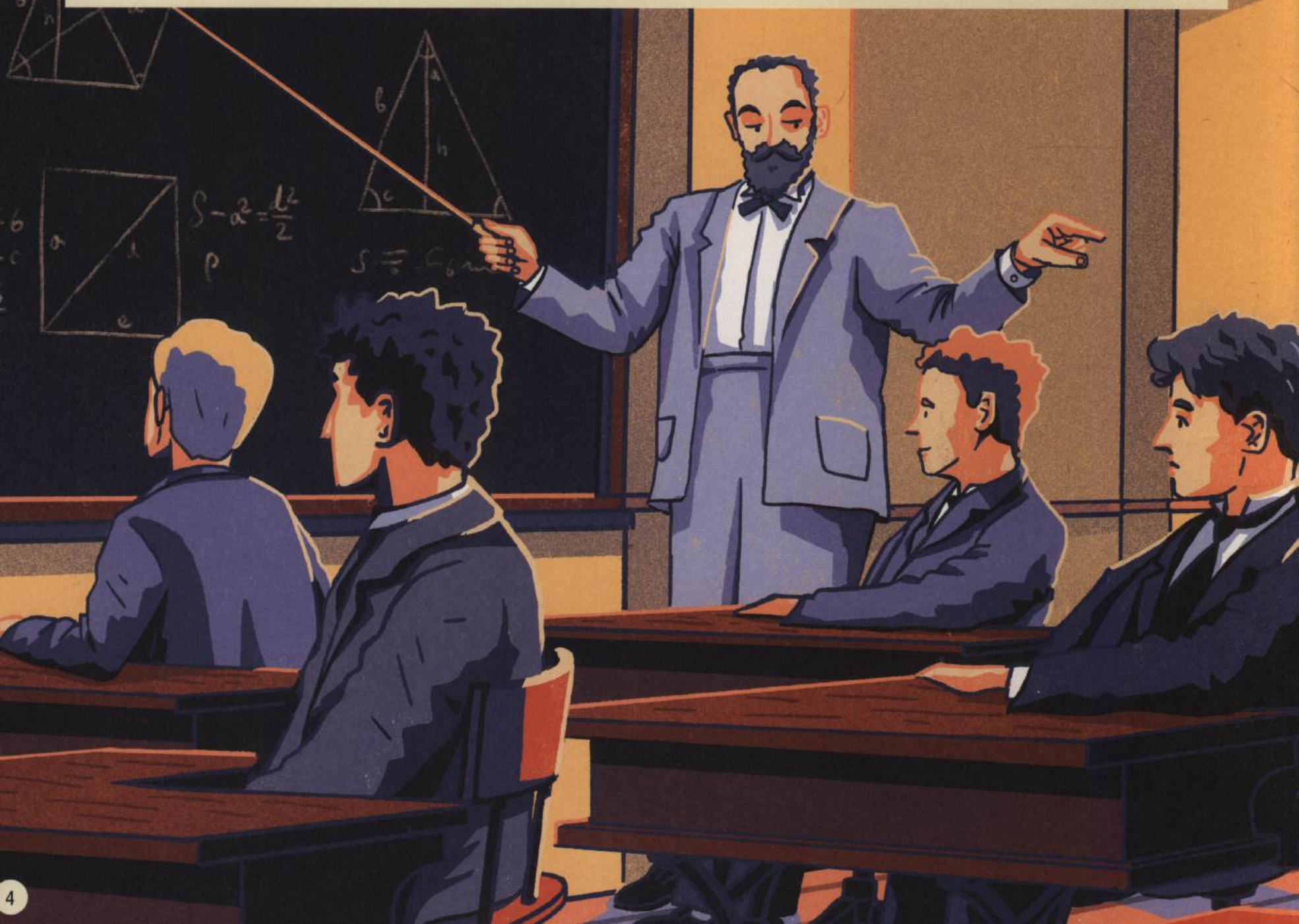
«Если бы каждый прожил жизнь, подобную моей, романы были бы не нужны», — так в 1901 году писал Эйнштейн своей сестре Майе. Автору письма было всего двадцать два года, и ему ещё только предстояло создать теорию относительности. Альберт Эйнштейн изменил наш мир. Его гипотезы и открытия произвели революцию в естественных науках. Он заставил нас пересмотреть представления о самих себе, о нашей планете, о Вселенной.

ДВА ЧУДА

Альберт Эйнштейн родился 14 марта 1879 года в городе Ульме на юге Германии. Он стал одним из самых известных людей XX столетия. А началось всё, когда он был ещё ребёнком.

Однажды маленький Альберт (ему было четыре или пять лет) заболел. Чтобы мальчику не было скучно лежать в постели, отец принёс ему компас. Невидимая сила, которая заставляла стрелку компаса поворачиваться и всегда показывать на север, заворожила ребёнка. Позднее, когда Альберту было двенадцать лет, ему подарили книгу по геометрии — науке о форме, размере и положении объектов в пространстве. «Моя священная книжечка по геометрии», — так он говорил о ней.

В автобиографических записках Эйнштейн называл компас и книгу «двумя чудесами», потому что они пробудили в нём интерес к познанию мира и положили начало длинному пути в науке. Результат будет поистине невероятный: Эйнштейн создаст теорию, которая совершит революционный переворот в физике.



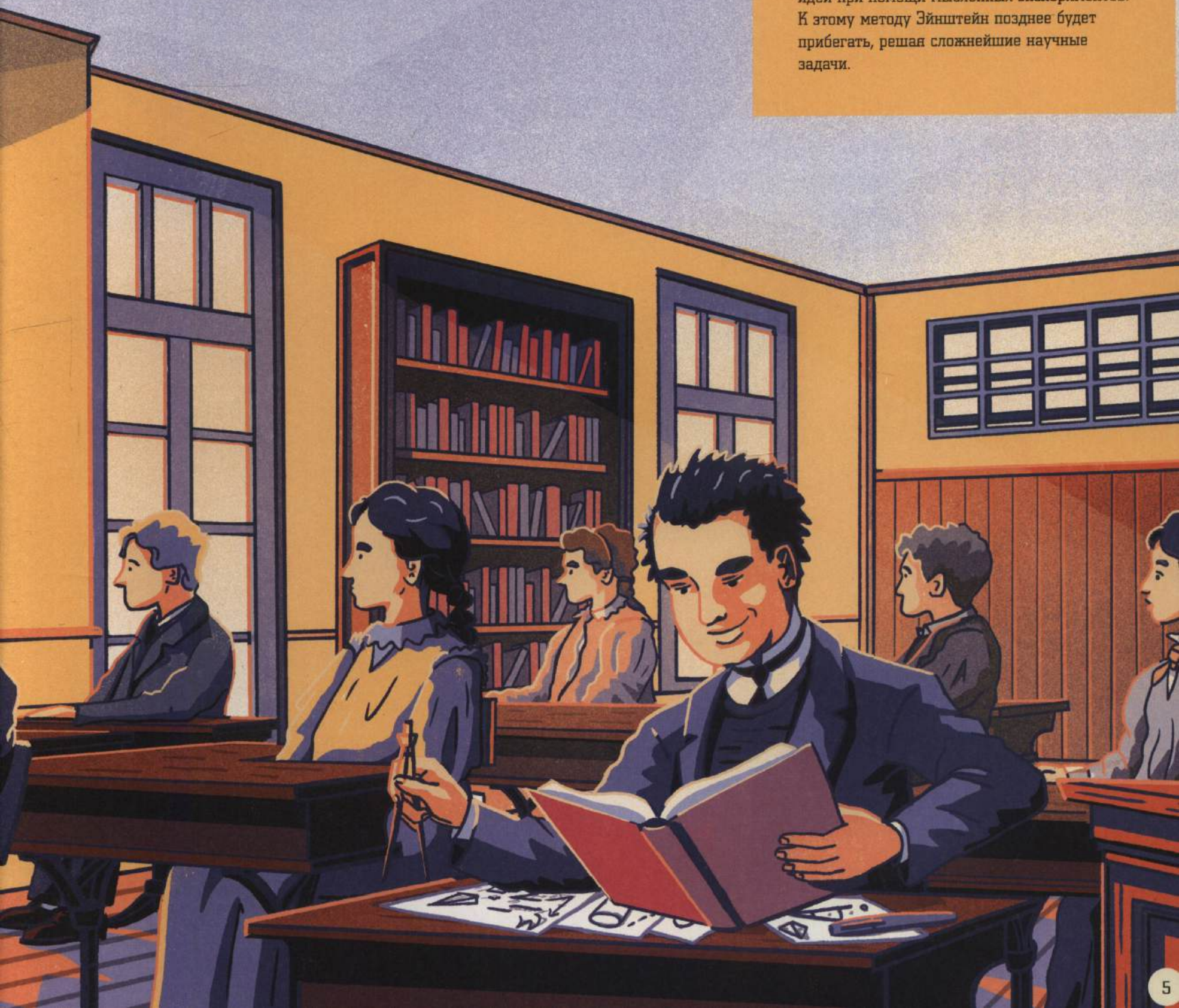
МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Маленький Альберт заговорил позже, чем другие дети. Размышляя об этом в зрелом возрасте, он предположил, что именно запоздалое речевое развитие сформировало его необычное, почти детское восприятие мира. Оно позволяло фантазировать, играть и забавляться с пространством и временем, тогда как большинство людей просто проживают реальность. Необычным было и то, что Эйнштейн мыслил скорее образами, чем словами. Ему было легче сначала представить сложную идею как картинку, «увидеть» её, и лишь потом дать точную словесную формулировку, облечь её в слова.

В 1895 году, когда Эйнштейну было шестнадцать лет, он на год поступил в школу в швейцарском городе Арау, чтобы подготовиться к учёбе в Цюрихском политехникуме. Эта школа подходила юноше идеально: в ней поощрялась индивидуальность учащихся, и именно там он научился разрабатывать идеи при помощи мысленных экспериментов. К этому методу Эйнштейн позднее будет прибегать, решая сложнейшие научные задачи.

В школе Эйнштейн не был прилежен — по крайней мере, так считали многие его учителя. Он демонстрировал блестящие математические способности, решал сложные задачи просто для развлечения, в конце средней школы был первым учеником в классе по алгебре, но из-за независимого, бунтарского характера любимчиком учителей так и не стал.

«Бездумная вера в авторитеты — злейший враг истины», — писал Эйнштейн своему другу в 1901 году. Может, подобные взгляды и не прибавляли ему популярности у учителей, но готовность сомневаться в авторитетах, строить смелые научные гипотезы, пересматривать устоявшиеся истины привела Эйнштейна к великим открытиям.



ГРАВИТАЦИЯ

ЧТО БЫЛО ИЗВЕСТНО О ГРАВИТАЦИИ К НАЧАЛУ XX ВЕКА?

Что удерживает нас на поверхности Земли? Разумеется, гравитация, или сила тяжести. Но что именно она собой представляет? Вопросы, почему предметы падают, а не улетают в небо и почему мы крепко стоим на земной поверхности, не давали покоя философам и учёным на протяжении столетий. Одно из первых объяснений принадлежало древнегреческому философу Аристотелю. Он полагал, что Земля находится в центре Вселенной, а сама Вселенная состоит из четырёх элементов: земли, воды, воздуха и огня. Самый тяжёлый элемент — земля, поэтому она в центре, дальше по мере уменьшения тяжести расположены сферы воды, воздуха и огня. Выше этих сфер-элементов находится таинственный пятый элемент, эфир, заполняющий собой космическое пространство. Это была, конечно, интересная теория, но... фантастическая.

МОЛОТОК И ПЕРО

Следующая веха в изучении гравитации связана с Галилео Галилеем. В биографии итальянского физика рассказывается, что тот бросал одновременно несколько шаров разной массы с Пизанской башни. Но скорее всего, он если и проводил такой эксперимент, то мысленно: записей самого Галилея об опыте нет. Однако примерно в 1592 году учёный действительно провёл эксперимент по скатыванию с наклонной плоскости шаров разной массы. Галилей тщательно измерил скорость шаров и понял, что она одинакова и не зависит от их массы. Учёный объяснил это действием силы тяготения.

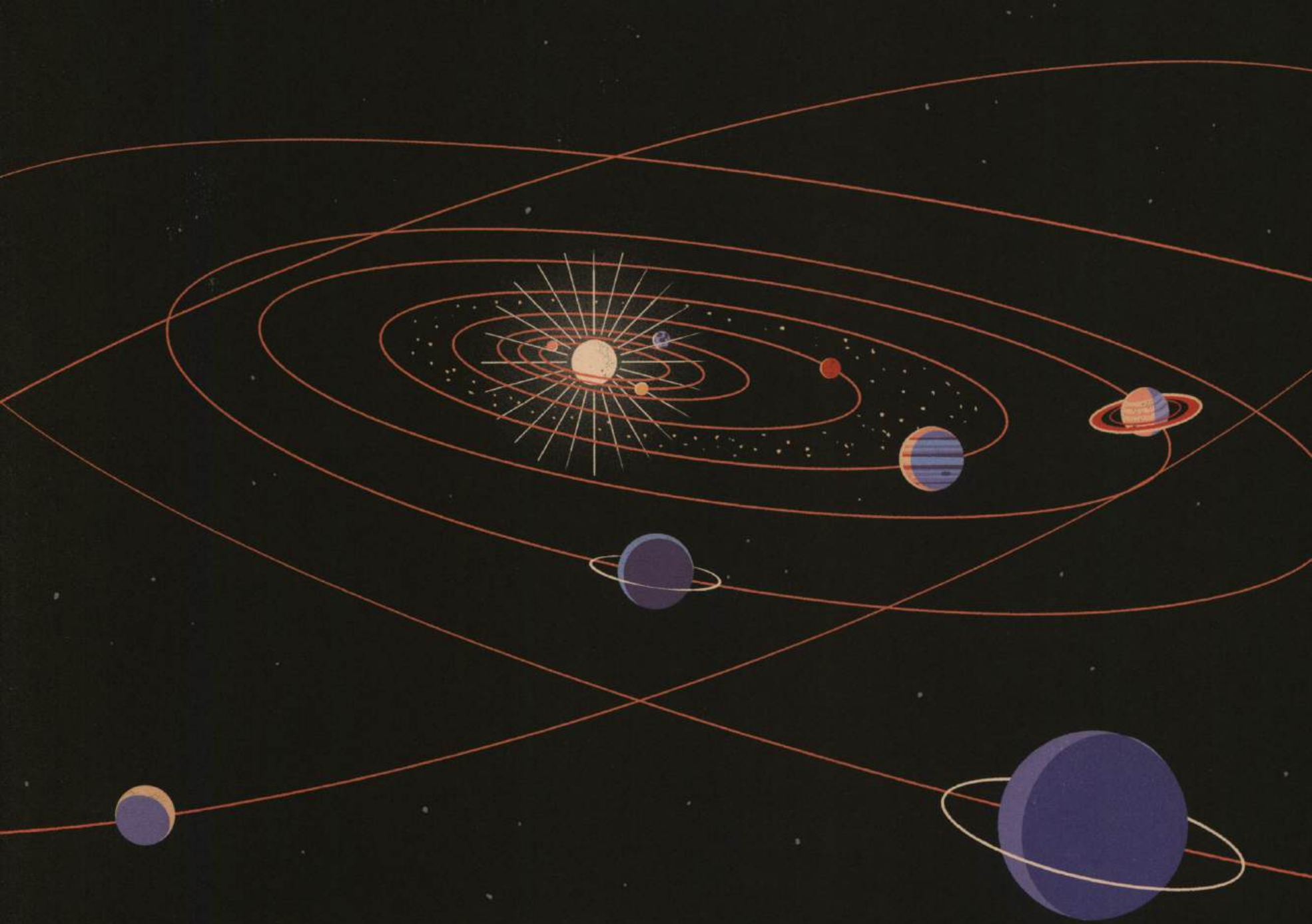
Это означает, что, если одновременно уронить с одной и той же высоты тяжёлый и лёгкий предметы, они коснутся земли одновременно.

Проведя такой опыт в обычных условиях, на Земле, вы убедитесь, что перо всё-таки упадёт позже, потому что (и Галилей это понимал) на него будет действовать сила сопротивления воздуха.

Но четыре века спустя астронавты с «Аполлона-15» провели на Луне похожий опыт: командир корабля Дэвид Скотт уронил молоток и соколиное перо с одной и той же высоты.

Хотя перо весило гораздо меньше молотка, предметы падали с одинаковой скоростью и коснулись поверхности Луны одновременно, потому что атмосферы и, соответственно, сопротивления воздуха там нет.





ПАДАЮЩЕЕ ЯБЛОКО

5 июля 1687 года, примерно за двести лет до того как Эйнштейн создал теорию относительности, вышла важнейшая для науки книга — «Математические начала натуральной философии» (или просто «Начала»). Её автор, английский учёный Исаак Ньютон, заложил основы так называемой классической механики — законов, описывающих движение всех небесных тел во Вселенной.

Считается, что Ньютон открыл гравитацию, сидя под яблоней. Когда ему на голову вдруг упало яблоко, учёный задумался: почему предметы всегда падают перпендикулярно земной поверхности?

Размышляя об этом, Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения. Закон объяснял, почему любые два предмета во Вселенной притягиваются друг к другу.

Ньютон писал: «Силы, удерживающие планеты на их орбитах, должны быть обратно пропорциональны квадрату расстояний от центра, вокруг которого они обращаются: и таким образом можно сравнить силу тяжести, необходимую для удержания Луны на её орбите, и силу тяжести на поверхности Земли».

МЕНЬШАЯ МАССА = МЕНЬШАЯ СИЛА



БОЛЬШАЯ МАССА = БОЛЬШАЯ СИЛА



Ньютон открыл, что любая масса воздействует на другую массу через гравитационное притяжение. Чем больше масса обоих объектов, тем больше сила притяжения между ними. Но при этом чем больше расстояние между объектами, тем меньше сила притяжения.

С помощью теории Ньютона астрономы, изучая аномалии в движении Урана, предсказали существование ещё одной планеты Солнечной системы — Нептуна. Однако теория Ньютона не могла, например, объяснить едва заметную особенность орбиты Меркурия: его перигелий (ближайшая к Солнцу точка орбиты) всё время постепенно смещается. Разгадка появилась лишь в XX веке — вместе с теорией относительности Эйнштейна, которая развивала и уточняла идеи Ньютона.



ВРЕМЯ

ЧТО БЫЛО ИЗВЕСТНО О НЁМ К НАЧАЛУ XX ВЕКА?

Сколько сейчас времени? Чтобы ответить на этот вопрос, мы можем просто взглянуть на часы.

Но они покажут время только для той точки, где мы находимся. На противоположной стороне Земли ответ будет совсем другим. Итак, сколько же сейчас времени? И что эта фраза на самом деле означает?

АБСОЛЮТНОЕ ВРЕМЯ

В книге «Начала» Ньютон писал: «Абсолютное, истинное математическое время... без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно».

Формулируя три закона классической механики, Ньютон исходил из того, что время во Вселенной абсолютно, его течение неизменно, где бы мы ни находились.

По Ньютону, если синхронизировать двое часов и измерить с их помощью длительность события, но так, чтобы одни часы при этом находились в покое, а вторые двигались, то они покажут одинаковое время.

Время, доступное человеческим органам чувств, Ньютон называл «относительным, кажущимся или обыденным».

Ньютон полагал, что мы ощущаем движение времени, потому что наблюдаем перемещение видимых нам предметов, например солнца на небосводе или стрелок часов.

Но Ньютон был не совсем прав...

КОТОРЫЙ ЧАС?

В прошлом даже с таким простым (казалось бы!) понятием, как час, было не всё так просто.

Время между восходом и заходом солнца было поделено на двенадцать одинаковых отрезков, и зимой часы были короче, а летом длиннее. Оно и понятно:

зимой солнце вставало гораздо позже и садилось раньше, а летом всё было наоборот.

До XVIII столетия каждый город устанавливал собственную длину часа по своим солнечным часам. Даже в соседних городах время могло сильно отличаться, и при переезде из одного города в другой всякий раз приходилось переставлять стрелки часов.

По мере того как укреплялись связи между городами, росла необходимость договориться об общем времени.



СИНХРОНИЗИРОВАННОЕ ВРЕМЯ

В 1840-е годы железнодорожные компании в Великобритании ввели единое для страны время (его даже называли железнодорожным), чтобы люди могли планировать поездки, а поезда точно следовали расписанию.

Другие страны последовали примеру британцев и постепенно ввели единое время (зависевшее, правда, от часовых поясов). Его называют стандартным (или поясным).

Работая в патентном бюро в Берне, Эйнштейн проверял заявки на изобретения, с помощью которых предполагалось синхронизировать часы для растущей сети железных дорог.

Это занятие, очевидно, сыграло свою роль в последующих событиях. Вскоре Эйнштейн перевернёт все привычные представления о часах, минутах и секундах, и на смену

«Люди, которые, как и мы, верят в физику, знают, что различие между настоящим, прошлым и будущим есть не что иное, как полная иллюзия».

«ньютоновскому» времени придёт время «релятивистское». Позднее он напишет: «Люди, которые, как и мы, верят в физику, знают, что различие между настоящим, прошлым и будущим есть не что иное, как полная иллюзия».

Так сколько же сейчас на самом деле времени?

ПРОСТРАНСТВО

ЧТО БЫЛО ИЗВЕСТНО О НЁМ К НАЧАЛУ XX ВЕКА?

Где вы находитесь? Попробуйте ответить, не упоминая предметы вокруг себя. Сможете? Подобно гравитации и времени, идея пространства также всегда занимала умы учёных. К моменту создания теории относительности сложились определённые геометрические представления о размере, форме предметов и их расположении друг относительно друга.

2 Чтобы определить положение (координаты) облака, можно было бы поставить на площади шест, достигающий до облака.

1 Указать положение объекта в пространстве можно с помощью чисел, которые называются координатами. Они сообщают, насколько объект удалён от нас в направлении вправо, влево, вверх или вниз. Расстояние от одной точки до другой определяют, измерив кратчайший путь между ними линейкой или лентой известной длины. Эйнштейн иллюстрировал эту идею, используя образ облака в небе над городской площадью.

3 Измерив затем шест, мы узнаем точное расстояние от облака до земли.

Человек — это часть целого, которое мы называем Вселенной, — часть, ограниченная во времени и в пространстве.
Эйнштейн

4 Имея в виду эту систему координат, Эйнштейн писал, что «любое описание событий в пространстве включает в себя использование тела неизменной величины, с которым нужно соотносить все такие события».

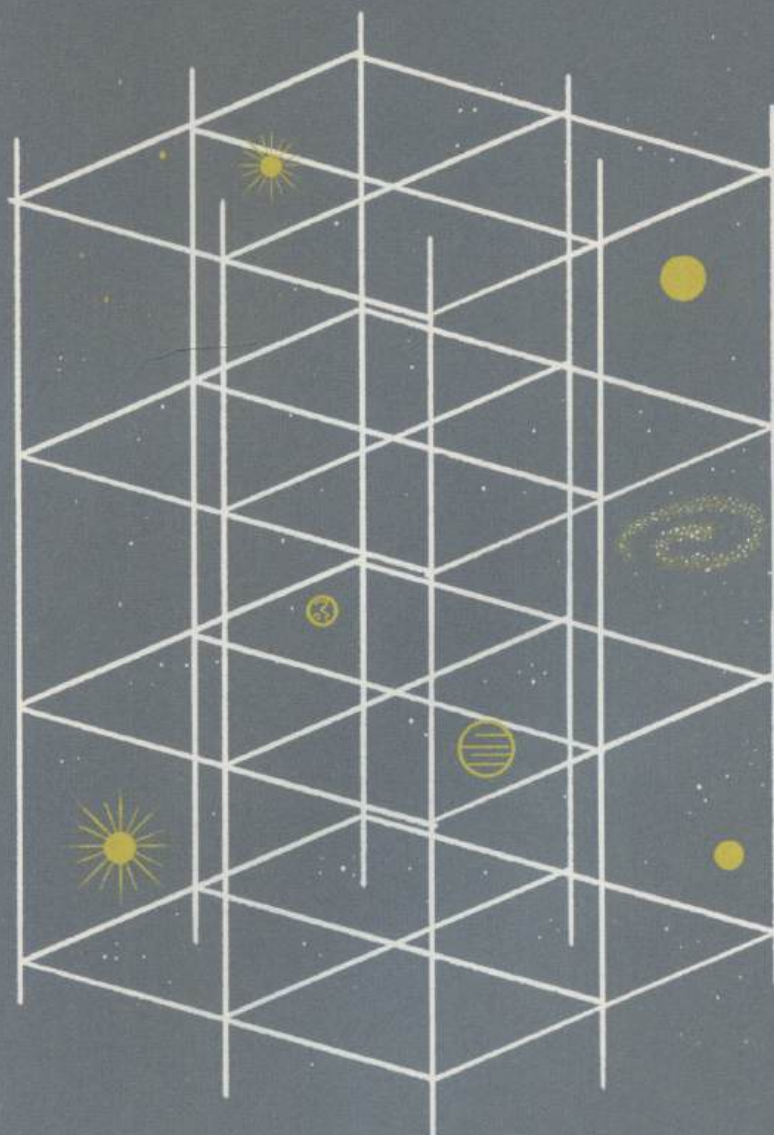
5 «Тело неизменной величины» в нашем примере — Трафальгарская площадь. Объяснить, где находится облако, не упоминая при этом Трафальгарскую площадь либо какой-нибудь другой предмет, чьё положение в пространстве неизменно (например, колонну Нельсона или бронзовых львов на её постаменте), было бы невозможно.

АБСОЛЮТНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Хотя идея абсолютного пространства (как и абсолютного времени) принадлежит Аристотелю, впервые её чётко сформулировал Исаак Ньютон. Провозгласив в «Началах», что «абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно», он вслед за этим пишет: «Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему-либо внешнему, остаётся всегда одинаковым и неподвижным».

Его мысль заключалась в том, что в нашем мире — и вообще во всей Вселенной — можно построить воображаемую координатную сетку из планок заданной длины во всех направлениях. Таким образом мы бы измерили всё пространство. При этом все расстояния оставались бы неизменными, куда бы и с какой скоростью мы ни двигались.

Эта мысль кажется разумной. Если расставить в комнате стулья и измерить расстояния между ними, дальше эти расстояния меняться уже не будут (если не переставлять стулья). Но — как и в случае со временем — Эйнштейн доказал, что это неверно!



СВЕТ

ЧТО БЫЛО ИЗВЕСТНО О СВЕТЕ К НАЧАЛУ XX ВЕКА?

Какого он цвета? Как распространяется? Как свету удаётся преодолеть путь в космическом пространстве от Солнца до Земли? В течение сотен лет учёные и философы ломали головы над этими вопросами. Очень важно было понять природу света и Эйнштейну.

ЦВЕТА РАДУГИ

И вновь мы возвращаемся к Исааку Ньютону. Он не только сформулировал три основных закона механики, но и сделал несколько важных открытий, касающихся света. Учёный опубликовал их в 1704 году в своей книге «Оптика».

Один из самых известных опытов Ньютона — это опыт со стеклянной призмой. Физик разделил световой пучок на лучи разного цвета, пропустив его через призму.

ПЕРВАЯ ПРИЗМА

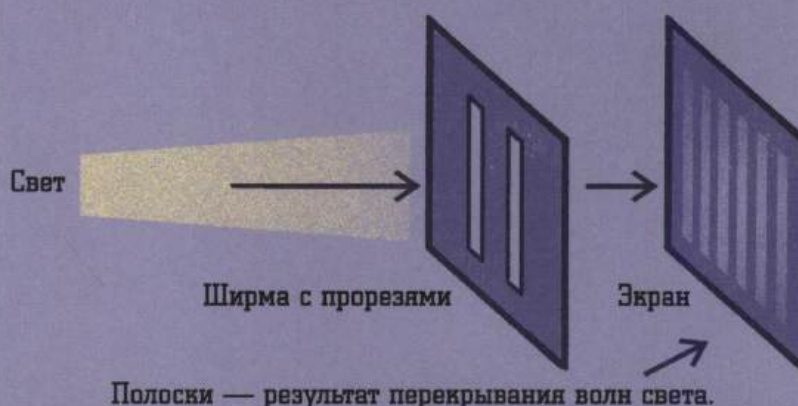
Затем Ньютон отметил, что, если пропустить через призму цветной луч (например, красный), его цвет не поменяется. А если все цветные лучи пройдут через вторую, перевёрнутую, призму, они вновь образуют пучок белого света. Получалось, что белый свет состоит из лучей разного цвета, а не призма окрашивала их. Так Ньютон доказал ошибочность идей Аристотеля, который считал, что свет прозрачен и приобретает цвет в предметах, окружающих нас.

СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ

Что есть свет — поток частиц или волна? Физики спорили об этом на протяжении веков. Ньютон считал, что свет — поток частиц («корпускул», как говорили в то время). Многие учёные разделяли его точку зрения, но были и сторонники гипотезы о волновой природе света. В 1801 году английский учёный Томас Юнг провёл опыт, чтобы разрешить многолетний спор.

Через крошечное отверстие он направил луч света на непрозрачную ширму с двумя вертикальными прорезями (щелями), за которой стоял экран для наблюдения. Если бы свет состоял из частиц, то эти частицы после прохождения через щели должны были бы снова упереться в экран двумя лучами. Если же свет — волна, то волны проходили бы через щели и перекрывали друг друга, образуя на экране чередующиеся полосы.

В опыте Юнга два луча света, прошедшие через две прорези в ширме, частично перекрываются в некоторой области экрана, и в этой области виден ряд светлых и тёмных полос (Юнг назвал это явление интерференцией). Это доказывало волновую природу света.



МАГНЕТИЗМ И ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

В 1800-е годы английский физик Майкл Фарадей открыл, что при движении магнита внутри проволочной катушки в ней возникает электрический ток. Если же, наоборот, пропустить электрический ток через проволочную катушку, создаётся магнитное поле. Открытие Фарадея также помогло лучше понять природу света. Его теорию об электрическом и магнитном полях развил шотландский физик Джеймс Клерк Максвелл.

Максвелл понял, что магнетизм, электричество и свет — разные формы одного и того же явления.

Свет, считал Максвелл, должен представлять собой электромагнитное излучение, распространяющееся в виде волнообразных колебаний. Он был прав: видимый свет — это высокочастотная электромагнитная волна.



ВТОРАЯ ПРИЗМА

ПРЕДЕЛЫ СКОРОСТИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Одно из важнейших открытий Максвелла заключалось в следующем: скорость света — постоянная величина. Неважно, движемся ли мы и с какой скоростью, неважно, движется ли источник света — лучи света всегда распространяются с одной и той же скоростью.



Насколько велика эта скорость? Ответ таков: она очень велика! Свет в вакууме проходит 299 792 километра за секунду. Если зажечь прожектор на экваторе, то за одну секунду свет обогнёт земной шар семь с половиной раз.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ

ЧТО БЫЛО ИЗВЕСТНО ОБ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В КОНЦЕ XX ВЕКА?

Один из самых давних и не подвергаемых сомнению постулатов в физике — это принцип относительности. Он довольно прост: движемся мы (равномерно) или находимся в покое, законы физики и в первом, и во втором случае для нас одинаковы.

Принцип относительности впервые сформулировал Галилей в своей книге «Диалог о двух главнейших системах мира: Птолемеевой и Коперниковой» (1632 год).

Галилей считал, что Земля движется вокруг Солнца, а не находится неподвижно в центре Вселенной.

Его оппоненты утверждали, что, если бы Земля двигалась, мы бы это чувствовали. В ответ Галилей предложил остроумный мысленный эксперимент, доказывающий их неправоту.

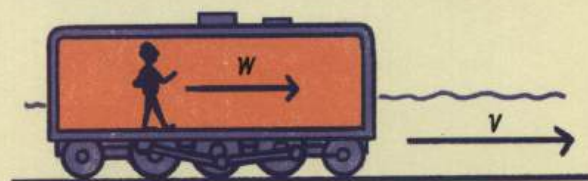
Представьте, что вы находитесь в каюте корабля, где летают мухи и бабочки и стоит большой сосуд с рыбками. «Пока корабль стоит неподвижно, — писал учёный, — наблюдайте прилежно, как мелкие летающие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы, как вы увидите, будут плавать безразлично во всех направлениях».

А теперь вообразите, что корабль плывёт к пункту своего назначения с постоянной скоростью. В этом случае на корабле ничего не изменится. На самом деле, находясь в каюте, мы даже не поймём, движемся ли мы. Причина заключается в том, что и воздух в помещении, и вода в сосуде с рыбками движутся с той же скоростью, что и мы.



ВСЁ ОТНОСИТЕЛЬНО

В своих лекциях по теории относительности Эйнштейн рассматривает ситуацию с человеком, идущим по вагону поезда. Если поезд движется с постоянной скоростью v , а человек шагает по вагону по ходу движения поезда со скоростью w , то чему равна W — скорость движения человека относительно железнодорожного полотна?



Ответ очевиден, говорит Эйнштейн. Если человек стоит на месте в движущемся вагоне, он переместится на то же расстояние относительно железнодорожных путей, что и вагон. Если же человек сам будет идти по движущемуся вагону, его скорость относительно путей будет равна сумме собственной скорости и скорости самого вагона.

Эйнштейн записывает это таким образом:

$$W = v + w$$

Запутались? Вернёмся к кораблю Галилея. Если волны ударялись о борт корабля со скоростью 10 узлов, пока тот стоял у причала, они будут ударяться со скоростью 30 узлов, когда корабль поплывёт им навстречу, например, со скоростью 20 узлов. Но Эйнштейн задал вопрос: верен ли простой механический закон сложения и вычитания скоростей для скорости света?



ДУМАЕТЕ, ВЫ СИДИТЕ НЕПОДВИЖНО?

Даже когда вы отдыхаете на диване у себя дома, не шевеля ни единым мускулом, на самом деле вы движетесь с очень большой скоростью! Земля вращается со скоростью 1670 км/ч, и вы вращаетесь вместе с ней. А ещё наша планета мчится по орбите вокруг Солнца со скоростью 107 000 км/ч. Но единственное, что указывает вам на это, — ежедневное движение Солнца по небосводу.

Тысячи лет никто не мог сказать, Солнце ли движется относительно Земли, или Земля относительно Солнца. Сегодня мы знаем, что Земля вращается вокруг Солнца.

1905-й — «ГОД ЧУДЕС» ЭЙНШТЕЙНА

Воображение важнее, чем знания. Наши знания ограничены, в то время как воображение охватывает целый мир.

Эйнштейн

Что бы мы увидели, если бы могли догнать луч света и бежать рядом с ним?

Эйнштейн впервые задумался об этом в 1895 году, когда ему было шестнадцать. Согласно научным воззрениям того времени, мы видели бы застывшую волну: замерший луч света и колебания электромагнитного поля внутри него. Но Эйнштейну эта картина казалась бессмысленной. «В этом парадоксе, — писал он позднее, — уже содержалось зерно специальной теории относительности».

В течение следующих десяти лет Эйнштейн размышлял над этой проблемой и в конце концов создал теорию, которая произвела переворот в науке. Произошло это благодаря напряжённому труду, таланту — и некоторым совпадениям.

В 1905 году, который позже назовут «годом чудес» (*annus mirabilis*) Эйнштейна, он сделал несколько невероятных открытий, изменивших путь развития науки.

Но каким образом это могло произойти? Как возникли его революционные идеи? Причин было несколько...

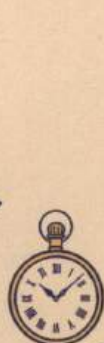
РАБОТА

На протяжении нескольких лет, несмотря на свои блестящие способности, Эйнштейн безуспешно искал хорошую работу. Он давал частные уроки, пытался получить должность школьного учителя. В июне 1902 года при помощи друга ему наконец удалось устроиться на скромную должность в Швейцарском патентном бюро в Берне.

Человек, который изобрёл нечто новое, подаёт заявку на патент. Государство регистрирует изобретение и имя его автора, чтобы идею не могли украсть. Во время работы в патентном бюро Эйнштейн обработал множество заявок на изобретения, касавшиеся синхронизации часов. Эта практическая задача сыграла важную роль в создании специальной теории относительности.

Именно у подножия Цитглогге Эйнштейна посетила мысль...

Однажды в мае 1905 года он услышал звон колокола. «Что произошло бы, удаляйся я от башни со скоростью света?», — подумал Эйнштейн.



Если бы Эйнштейн двигался со скоростью света...

Ему казалось бы, что часы на башне остановились...

...Но при этом его собственные часы шли бы, как обычно.

Эйнштейн удалялся бы от часов на башне с той же скоростью, что и отражающийся от них луч (а именно со скоростью света). И поскольку луч, идущий от часов, не мог бы догнать учёного, тому бы казалось, что башенные часы стоят.

МОТОРЫ И МАГНИТЫ

Дядя Эйнштейна был инженером. Именно Якоб Эйнштейн познакомил Альберта с теоремой Пифагора и с алгеброй, когда тому было двенадцать. Они вместе решали математические головоломки, а позднее Эйнштейн в свободное время помогал дяде усовершенствовать катушки и магниты для электрогенераторов, которые тот продавал. Таким образом Альберт проверял на практике свои знания в области электромагнетизма.

Когда магнит движется относительно катушки, возникает электрический ток.

Вне зависимости от того, движется ли магнит относительно катушки, или катушка относительно магнита, количество электрического тока будет одним и тем же.

Тем не менее физики того времени объясняли эти два случая по-разному. Для Эйнштейна подобный подход был бессмысленным, и это тоже нашло отражение в теории относительности.

ЧАСЫ НА БАШНЕ

В центре Берна, недалеко от патентного бюро, где работал Эйнштейн, стоит знаменитая средневековая часовая башня Цитглогге.

Эту каменную башню построили в XIII веке. В конце каждого часа на ней разворачивается представление: фигурка бородатого Кроноса (олицетворения Времени в греческой мифологии) переворачивает песочные часы, сверху замерший в прыжке шут звенит колокольчиками, а внизу перед Кроносом проходят по кругу фигурки медведей (символы Берна). По этим часам устанавливали время на всех часах в городе.



ЧЕТЫРЕ СТАТЬИ: ЧАСТЬ I

В 1905 году Эйнштейн публикует четыре статьи, ошеломившие научное сообщество. В письме другу Конраду Габихту (май 1905 года) он приносил извинения за «несущественную болтовню», предваряющую изложение его революционных идей. Итак, вот эти статьи, которые изменили науку — и вместе с ней мир.

Эйнштейн: свет — это поток квантов, ведущий себя как волна.

ПЕРВАЯ СТАТЬЯ: КВАНТЫ СВЕТА (17 МАРТА 1905 ГОДА)

Первая статья посвящена излучению и энергии света и очень революционна...
Из письма Эйнштейна Конраду Габихту

В этой статье Эйнштейн утверждал, что свет не просто волна, а поток частиц, или порций энергии, которые он назвал квантами. Эти кванты света позже стали именоваться фотонами.

Открытие Эйнштейна вызвало огромный резонанс. В XVII веке Ньютон утверждал, что свет состоит из частиц; потом было доказано, что он распространяется как волна.

Теперь же Эйнштейн заявлял, что свет — поток частиц, который ведёт себя как волна!

Идеи, высказанные в этой статье, будут волновать его всю жизнь. Полвека спустя он напишет своему другу Микеле Бессо: «Последние пятьдесят лет я неустанно думал, но нисколько не приблизился к ответу на вопрос, что же такое кванты света».



ВТОРАЯ СТАТЬЯ: РАЗМЕР МОЛЕКУЛ (30 АПРЕЛЯ 1905 ГОДА)

*Вторая статья — о вычислении истинных размеров атомов.
Из письма Эйнштейна Конраду Табихту*

Сегодня мы знаем, что всё состоит из атомов, но в начале XX века их существование всё ещё не было доказано экспериментально. Эйнштейн придумал способ, как определить размеры атомов и молекул.

В 1811 году итальянский учёный Амедео Авогадро предположил, что в определённом объёме любого газа, называемом «моль» и равном 22,4 литра, при одинаковом давлении и температуре будет содержаться одинаковое число молекул. Его так и называли — числом Авогадро. Оно невероятно велико: количеством песчинок, равным числу Авогадро, можно покрыть всю пустыню Сахара слоем толщиной 2 метра!

Число Авогадро использовалось для измерения количества атомов и молекул в газах, Эйнштейн же показал, как можно сделать то же самое для жидкости (причём проще).

Если растворить сахар в воде, она становится более густой и вязкой, сиропобразной. Чем больше сахара мы добавляем в жидкость, тем медленнее будут двигаться погружённые в неё объекты. Эйнштейн предположил, что вязкость воды можно использовать для измерений. Он составил уравнения, с помощью которых можно было определить размер молекул сахара и их количество в воде. Результаты, описанные в этой статье, нашли широкое практическое применение (от смешивания цемента до изготовления аэрозолей). И наконец Эйнштейн получил докторскую степень!



Сахар растворяется в воде, и получается сироп.

ЧЕТЫРЕ СТАТЬИ: ЧАСТЬ II

ТРЕТЬЯ СТАТЬЯ: БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ (11 МАЯ 1905 ГОДА)

Наблюдаемое нами случайное движение... имеет своей первопричиной тепловое движение.
Из письма Эйнштейна Конраду Табихту

В третьей статье Эйнштейна содержалось решение загадки, над которой на протяжении восьмидесяти предшествующих лет бились учёные. И окончательно доказано существование атомов и молекул!

Если посмотреть под микроскопом на мельчайшие частички вещества в жидкости, мы увидим, что они непрерывно беспорядочно движутся. Впервые этот феномен (перемещение в воде зёрен пыльцы) наблюдал шотландский ботаник Роберт Броун в 1828 году. Явление назвали в его честь броуновским движением. Почему зёрна пыльцы двигались? Было ли это вызвано движением потоков в жидкости? Или действием света? Никто не знал.

Эйнштейн предположил, что частицы вещества подвергаются толчкам молекул воды, в которой они плавают.

Одна молекула воды, будучи во много раз меньше частички вещества, не сможет сдвинуть её с места. Но, если о частицу будут постоянно ударяться тысячи молекул, сила, приложенная с одной стороны, в какой-то момент окажется достаточно большой — и частица сдвинется с места. По сути, броуновское движение было прекрасным экспериментальным доказательством того, что атомы и молекулы действительно существуют. И Эйнштейн это понял! Он подумал: атомы и молекулы слишком малы, но вполне можно оценить их размер и поведение, проанализировав воздействие, которое они суммарно оказывают на плавающие частички вещества.

Таким образом, анализ движения частиц экспериментально доказывал существование атомов и молекул.



ЧЕТВЁРТАЯ СТАТЬЯ: ОБ ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ ДВИЖУЩИХСЯ ТЕЛ (30 ИЮНЯ 1905 ГОДА)

Четвёртая статья... об электродинамике движущихся тел, которая подразумевает изменение теории пространства и времени.

Из письма Эйнштейна Конраду Хабихту

Результаты, опубликованные Эйнштейном в предыдущие месяцы, сами по себе уже были сенсационными, но лучшее он оставил напоследок.

В 1905 году перед ним встала дилемма. Он натолкнулся на противоречие между двумя общепринятыми представлениями.

1. Свет всегда движется с одной и той же скоростью (299 792 км/с), и это предел скорости во Вселенной.

2. Согласно принципу относительности, законы физики не должны меняться в зависимости от того, движемся мы или нет.

Опираясь только на мысленные эксперименты, Эйнштейн поставил под сомнение идею Ньютона об абсолютном пространстве и времени и изменил тем самым наш взгляд на Вселенную.

В четвёртой статье Эйнштейн сформулировал так называемую специальную теорию относительности (СТО).

Броуновское движение — случайное движение твёрдых частиц, плавающих в воде (газе), в результате теплового движения атомов и молекул воды (газа).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ВВЕДЕНИЕ, ЧАСТЬ I

После «года чудес», когда Эйнштейн представил четыре новаторские статьи, он занялся подробной разработкой специальной теории относительности. Новые представления о пространстве и времени противоречили всему, что учёные раньше считали истинным.

Представьте себе, что вы сидите в вагоне поезда, стоящего на станции. Если поезд на соседнем пути начнёт движение (или ваш поезд тронется, но очень плавно), будет трудно понять, какой из поездов стоит, а какой движется.

На самом деле, вообще нельзя сказать, какой из поездов движется, а какой стоит, не указав, относительно чего происходит движение.

Два поезда, стоящих на станции, не движутся относительно платформы или друг друга. Когда один из них отправляется, оба поезда движутся друг относительно друга, но только один из них движется относительно платформы.

Принцип относительности означает, что законы физики действуют одинаково в обоих поездах — и на платформе тоже. Проблема возникает, когда мы пытаемся представить себе, как поведёт себя в этом случае свет.

1 Эйнштейн представил себе луч света, распространяющийся вдоль железнодорожной платформы. Он будет двигаться со скоростью, равной 299 792 км/с.

Скорость света — 299 792 км/с

2 Но, если при этом поезд будет двигаться по рельсам в том же направлении, что и световой луч, со скоростью, равной 99 792 км/с, с какой скоростью луч света будет двигаться относительно вагона поезда?

ГИПОТЕТИЧЕСКИЙ И НЕУЛОВИМЫЙ

Если свет всегда движется с постоянной скоростью, вне зависимости от того, стоите вы или бежите по лучу, как представлял себе Эйнштейн, то относительно чего измеряется скорость?

Учёные предполагали, что существует эфир — некое вещество, которое заполняет собой всё пустое пространство космоса, и благодаря ему свет далёких звёзд достигает Земли (подобно тому как во воздухе передаются звуковые волны).

Но была одна трудность: никому не удавалось экспериментально обнаружить или измерить эфир.

*По-видимому, не остаётся ничего другого,
как отбросить либо принцип относительности,
либо простой закон распространения света.
Эйнштейн*



3 Если вагон движется со скоростью 99 792 км/с, то луч света движется относительно поезда со скоростью 200 000 км/с. Но тогда получается, что скорость светового луча окажется меньше... скорости света. Это невозможно! Что же было делать Эйнштейну?

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ВВЕДЕНИЕ, ЧАСТЬ II

Теория получила название специальной теории относительности, чтобы отличить её от расширенной теории, с которой мы будем иметь дело впоследствии.

Эйнштейн. Теория относительности

Проблема, на которую обратил внимание Эйнштейн, подразумевает два объяснения: или мы неправильно измеряем скорость света, или неверен принцип относительности.

Однако и первое, и второе кажется невозможным! Эйнштейн оказался в тупике, как он сам признавался своему другу инженеру Микеле Бессо. Но потом учёного осенило. Он увидел третью возможность, причём ещё более невероятную. Если оба положения, касающиеся света и относительности, верны, то изменить следует нечто иное: наше понимание времени и окружающего нас пространства.

ВСПЫШКИ МОЛНИИ

Вообразите следующее: молнии ударяют в две точки вдоль рельсов одновременно. Всё просто, не так ли? Но Эйнштейну это представление о двух одновременных событиях не казалось таким очевидным.

Если вы стоите точно посередине между двумя точками, держите в каждой руке по зеркалу, чтобы отражать свет молний, и потому можете видеть обе вспышки сразу, то можете сказать, что они произошли одновременно: с обеих сторон свет проходит до зеркала одинаковое расстояние с одной и той же скоростью.

Но что произойдёт, задался вопросом Эйнштейн, если вы будете наблюдать эти вспышки из движущегося поезда?

Если вы находитесь в едущем поезде и смотрите из окна в точку, находящейся ровно посередине пути между вспышками, покажутся ли они вам одновременными? Нет!

Поскольку поезд движется от одной вспышки к другой, то молнию впереди вы увидите раньше, чем молнию, от которой удаляетесь.

«События, одновременные относительно железнодорожной платформы, не являются одновременными относительно поезда и наоборот», — писал Эйнштейн в «Теории относительности». И подчёркивая радикальность этой идеи, он продолжает: «Всякая точка отсчёта (система координат) обладает своим собственным временем, и если нам не сообщена точка отсчёта, к которой относится значение времени, само это значение бессмысленно».

В конце концов Эйнштейн доказал, что Ньютон не прав: абсолютного времени не существует.

Находясь между двумя вспышками молний и двигаясь при этом в сторону одной из них, вы увидите эту вспышку чуть раньше, чем ту, от которой удаляетесь.



НАПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА



ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА

Если бы Эйнштейн описывал свои открытия уравнениями, основанными на классической механике Галилея, он пришёл бы к выводу, что изменилась скорость света, — а это неверно.

Пытаясь устранить противоречие между теорией электромагнетизма и классической механикой, Эйнштейн применил так называемые преобразования Лоренца.

Голландский математик Хендрик Лоренц вывел свои уравнения, проводя исследования в области электромагнетизма, но Эйнштейн понял, что они позволяют определить место или время события относительно одной точки отсчёта, если известно его время или место относительно другой. Результаты применения этих уравнений были сногсшибательными.

ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

СТО кардинально изменила наши представления о Вселенной и привела к некоторым странным открытиям. Поскольку свет всегда распространяется с одной и той же скоростью — приблизительно $299\,792\text{ км/с}$ — вне зависимости от того, стоите вы на месте, движетесь навстречу световому лучу или в одном направлении с ним, Эйнштейн предположил, что абсолютного времени не существует. Время всегда зависит от того, с какой скоростью вы движетесь относительно чего-то ещё.

В ходе мысленного эксперимента Эйнштейн представил себе движущийся поезд, в котором находится женщина. На платформе рядом с путями стоит мужчина. У них обоих в руках часы, которые показывают одно и то же время.

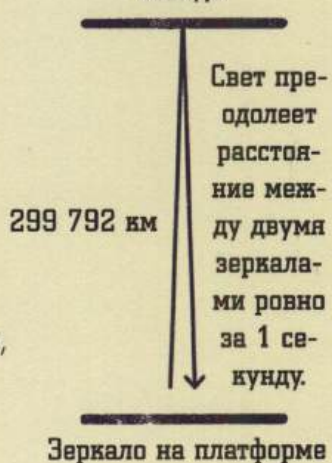
Мужчина и женщина видят, что их часы идут обычным образом — ничего странного. Но, когда поезд проезжает мимо платформы, мужчина смотрит в окно вагона и видит, что часы женщины идут медленнее его собственных! Как такое возможно?

Человеку кажется, что часы в движущемся поезде идут медленнее, чем часы у него в руках.



1 Представьте себе вместо часов пару зеркал, расположенных на расстоянии в точности $299\,792\text{ км}$ друг от друга, и вспышку света, отражающуюся от них. Нам известно, что свету потребуется ровно одна секунда, чтобы пройти от одного зеркала до другого, потому что скорость света составляет $299\,792\text{ км/с}$.

Зеркало в неподвижном поезде



2 Теперь представим себе, что поезд движется со скоростью, равной половине скорости света. Стоящему на платформе мужчине уже не будет казаться, что отражённая от зеркала в поезде вспышка света движется прямо от него и потом обратно. Он увидит, что вспышка движется по диагонали, потому что зеркала перемещаются вместе с поездом.

Зеркало, движущееся со скоростью, равной половине скорости света



...Поэтому приходится предположить, что замедлилось само время.



ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ: ЗДЕСЬ И СЕЙЧАС

Открытие Эйнштейна имеет большое значение для нашей повседневной жизни. Спутниковые навигаторы и другое программное обеспечение, использующее спутники GPS, должны учитывать замедление времени при расчёте нашего положения на земной поверхности, потому что время на Земле и на спутнике, обращающемся вокруг планеты, немного отличается. Европейское космическое агентство планирует установить двое атомных часов на МКС, чтобы измерять замедление времени как можно точнее.

ДОКАЗАНО: ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СУЩЕСТВУЕТ!

Возможны два объяснения, почему в мысленном эксперименте Эйнштейна ход времени кажется замедлившимся: или свет перемещается быстрее... скорости света (что невозможно!), или — и это с трудом укладывается в голове — относительно наблюдателя, стоящего на платформе, изменяются пространство и время.

Полученный результат называется замедлением
времени: время движется тем медленнее,
чем быстрее вы движетесь.

Это невероятное явление было много раз подтверждено с помощью очень точных атомных часов. Учёные сравнивали показания часов на Земле с показаниями часов на борту летящего самолета. Один из самых точных экспериментов провели в 2014 году в Германии. Физики заменили движущиеся часы ионами лития, которые разогнали до трети скорости света в ускорителе элементарных частиц, и измерили частоту колебаний электронов в частицах. Оказалось, что в быстро движущихся частицах процессы проходили медленнее, чем в тех, которые пребывали в состоянии покоя.

3 Свет отражается от нижнего зеркала, но пока он движется вверх по направлению к зеркалу в поезде, зеркала сдвигаются относительно друг друга вместе с едущим поездом. Это означает, что свет должен двигаться по диагонали вперёд, чтобы достичь верхнего зеркала, и потому пройденное расстояние между двумя зеркалами увеличивается с точки зрения наблюдателя, неподвижного относительно поезда.

ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ

Итак, Эйнштейн предположил, что время имеет свойство замедляться, причём тем сильнее, чем быстрее движется тело. Очень неожиданными будут последствия замедления времени для человека, который летит в космос.

Представьте себе двух близнецов. Брат остаётся на Земле, а сестра поднимается на борт космической ракеты и улетает. Она мчится на огромной скорости к далёкой звезде, затем разворачивается и отправляется в обратный путь к Земле. Что произойдёт потом?

Эта задача известна под названием «парадокс близнецов». Впервые сформулировал его не Эйнштейн, а Поль Ланжевен в докладе «Эволюция пространства и времени», который он представил 11 апреля 1911 года.

В ЧЁМ СУТЬ ПАРАДОКСА?

Поскольку время замедляется тем сильнее, чем быстрее вы движетесь относительно другого, неподвижного, человека (это явление известно как замедление времени), оказывается, что, двигаясь быстрее другого человека, вы стареете медленнее, чем он.

И хотя на Земле никто не передвигается настолько быстро, чтобы стареть заметно медленнее своего брата или сестры-близнеца, с помощью преобразований Лоренца можно рассчитать, что бы произошло в этом случае. И по мере приближения к скорости света время будет течь всё медленнее.

1 Предположим, что один из близнецов остался на Земле, а второй отправился в космос к отдалённой галактике на скорости, близкой к световой.

2 Через год космонавт-близнец развернётся и полетит обратно. Он приземлится и выйдет из корабля, будучи на два года старше — но на Земле пройдёт за это время 200 лет!





3 Так что же с нашими близнецами? Вернувшись из полёта, сестра окажется младше своего брата-близнеца!

МАШИНА ВРЕМЕНИ

Так, значит, путешествие во времени возможно?

Да! Согласно СТО, путешествие во времени возможно. Просто оно будет не совсем таким, каким вы его представляете. Вам не удастся отправиться назад во времени и посмотреть своими глазами на древних египтян, побывать в Древнем Риме или поехать на сафари с динозаврами. Но можно отправиться вперёд, в будущее, — если двигаться очень быстро.

Пока что людям удавалось это только для очень коротких отрезков времени. На борту Международной космической станции стареют медленнее, чем на Земле. Так что космонавт, который пробудет в космосе дольше, состарится меньше всех остальных космонавтов.

Рекорд пребывания в космосе принадлежит россиянину Геннадию Падалке, который за свои пять полётов на МКС провёл там в сумме 879 дней. То есть почти 2,5 года он находился на орбите Земли, двигаясь со скоростью 28 000 км/ч. Правда, при этом его старение замедлилось всего на 0,02 секунды!

СОКРАЩЕНИЕ ДЛИНЫ

В СТО Эйнштейн показал, что абсолютного времени не существует, но этим не ограничился. Он предположил, что если для любой точки в пространстве существует собственное время, то и абсолютного пространства тоже нет! Опираясь на преобразования Лоренца, физик пришёл к выводу, что чем быстрее движется тело, тем короче оно для неподвижного наблюдателя. Это так называемое сокращение Лоренца — Фицджеральда*.

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЯ

Если бы мы, находясь в воображаемом мчащемся поезде, пожелали измерить расстояние от середины первого вагона (точка А) до середины последнего (точка Б), нам потребовалась бы всего лишь очень длинная рулетка (или мерная рейка, как предлагал Эйнштейн). С помощью измерительного инструмента мы и узнали бы искомое расстояние от А до Б внутри поезда.

Но что, если бы мы стояли на платформе, а поезд мчался бы мимо нас?

Будет ли расстояние от А до Б таким же, как если бы мы были в вагоне?

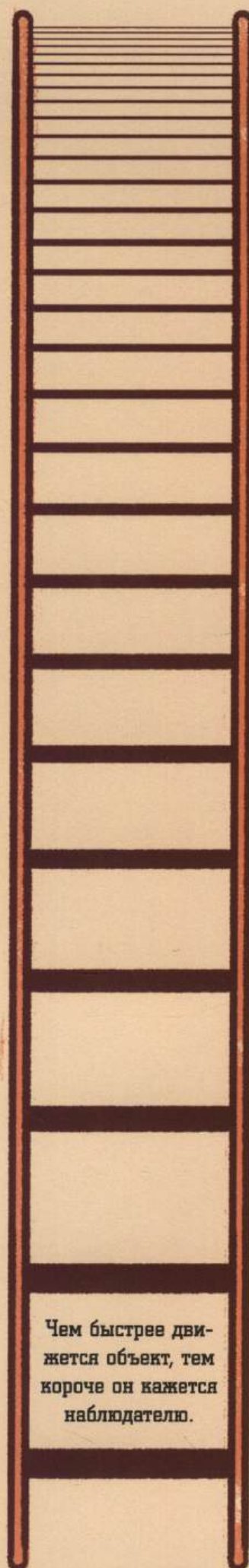
Ответ Эйнштейна: нет, не будет!

Помните вспышки молнии, которые оказывались то одновременными, то нет? Точки А и Б тоже движутся относительно человека на платформе.

Таким образом, если бы человек смог отметить у едущего поезда точки А и Б, находясь на платформе, а затем измерить расстояние между ними, то обнаружилось бы, что оно меньше, чем расстояние между А и Б внутри поезда. И чем быстрее шёл бы поезд, тем короче бы он казался: поезд длиной 200 м, движущийся на 99 % от скорости света, казался бы наблюдателю 28-метровым!

Ньютон ошибся и тут!
Абсолютного пространства не существует.

* Ирландский физик Джордж Френсис Фицджеральд в 1892 году независимо от Лоренца предположил, что размеры движущихся тел сокращаются в направлении движения.



Чем быстрее движется объект, тем короче он кажется наблюдателю.

ПАРАДОКС ПОЕЗДА

Всё это уже звучит странно, но из сокращения размеров вытекают и другие совершенно непонятные следствия.

Одно из них называют парадоксом лестницы. Представьте себе очень длинную лестницу, которая движется через сарай (чья длина меньше длины лестницы) с огромной скоростью. В какой-то момент лестница вся поместится в сарае! Можно вообразить и 200-метровый поезд Эйнштейна, полностью уместившийся в 50-метровом туннеле!

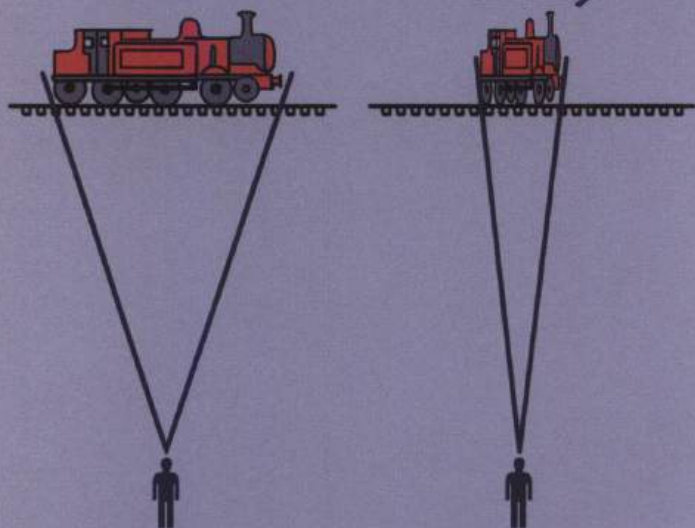
Как это возможно? В обычной жизни мы никогда не развиваем таких скоростей, чтобы сокращение длины проявилось заметным образом.

Даже если очень сильно ударить по футбольному мячу или бросить шест, они не ускорятся настолько, чтобы показаться короче, чем есть на самом деле. Но по мере приближения к скорости света сокращение длины становится всё более существенным.

Сокращение длины происходит только в направлении движения объекта: неподвижный наблюдатель увидит, что поезд стал короче, но его ширина и высота при этом не изменились.

Если воображаемый поезд Эйнштейна развил бы достаточную скорость, проезжая через туннель (более короткий, чем поезд), то он весь бы поместился внутри туннеля!

И если у туннеля были бы ворота с обеих сторон, их можно было бы закрыть, пока поезд находится внутри, — несмотря на то что (для наблюдателя внутри поезда) длина поезда превышает длину туннеля!



Объект в покое
имеет длину 200 м.

Объект, движущийся
со скоростью 99 %
от скорости света,
имеет длину 28 м.





ЧЕТЫРЁХМЕРНАЯ ВСЕЛЕННАЯ

Нематематик, услышав о четырёхмерных объектах, испытывает благоговейный трепет, словно перед чем-то сверхъестественным. И в то же время нет более общего места, чем утверждение, что мир, в котором мы живём, представляет собой четырёхмерный пространственно-временной континуум.

Эйнштейн. Теория относительности

До Эйнштейна Вселенная представлялась трёхмерной. Это означает, что точку в пространстве можно определить с помощью трёх чисел: первое показывает, насколько далеко точка находится впереди или позади нас, второе определяет точку в направлении «вверх-вниз», а третье — в направлении «влево-вправо». Время считали отдельным измерением: оно идёт вперёд само по себе, пока мы перемещаемся в некую точку пространства. Но СТО всё это изменила.

ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

В 1908 году немецкий математик Герман Минковский, опираясь на теорию Эйнштейна, предположил, что пространство и время составляют единую сущность — «пространство-время».

Минковский предложил применить к теории относительности идеи геометрии — науки об измерении предметов друг относительно друга.

Мысль Минковского была, по его собственным словам, радикальной: «Отныне время само по себе и пространство само по себе становятся пустой фикцией, и только единение их реально».

В классической физике, если событие происходило в конкретном месте, то всё, что нужно было знать, — три координаты этого места и дополнительно время события. Таким образом, если молния ударяла в рельсы, важно было знать, где именно это произошло и когда.

Однако благодаря Эйнштейну мы теперь знаем, что вспышки молнии могут казаться происходящими в разное время в зависимости от того, движется ли наблюдатель или стоит.

Минковский исходил из того, что время — это измерение равноправное, тесно связанное с тремя другими, и Вселенная на самом деле четырёхмерна.

Работы Минковского будут иметь важное значение и для общей теории относительности, которую Эйнштейн создаст позже.

МИРОВЫЕ ЛИНИИ

Итак, мы пребываем в едином пространстве-времени. Любое движение объекта через пространство-время имеет определённую траекторию, которую математики могут рассчитать.

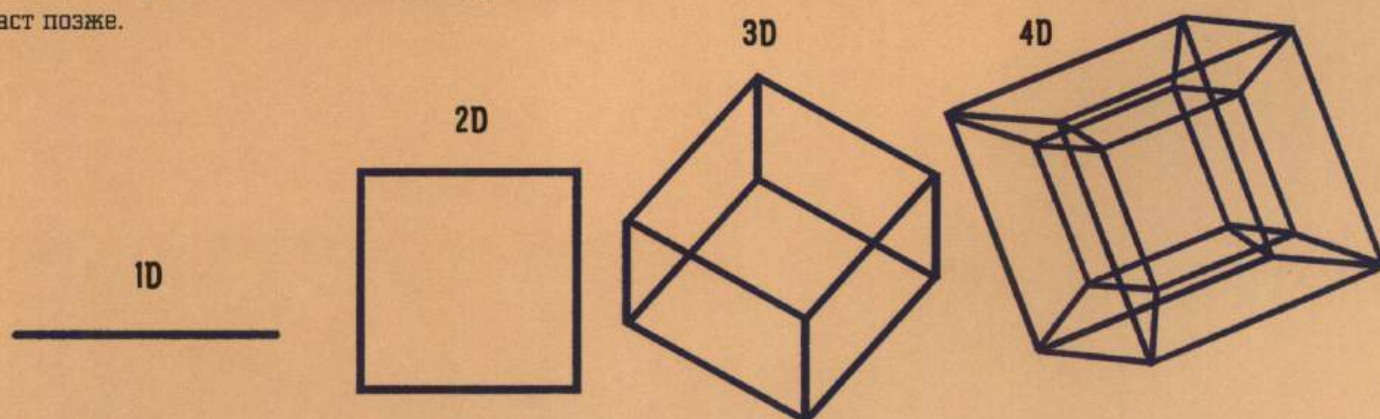
Эту траекторию Минковский назвал мировой линией.

Если объект не движется в пространстве, он всё равно движется во времени. Когда сталкиваются две частицы, это происходит в точке пересечения их мировых линий. У каждого из нас есть своя мировая линия, отмечающая наше перемещение через пространство-время.

УЧИТЕЛЬ И УЧЕНИК

Минковский представил свои идеи в 1908 году, и Эйнштейну понадобилось несколько лет, чтобы осознать их важность. Он обратился к нему в 1912 году, когда начал разрабатывать теорию гравитации. Позже, в 1916 году, Эйнштейн посвятил математику целую главу в своей работе «Теория относительности».

Забавно, что идеи Минковского оказались столь важны для Эйнштейна. Минковский был его преподавателем в Цюрихском политехническом институте, и тогда студент не произвёл на математика особого впечатления. Когда же Эйнштейн одну за другой стал публиковать статьи, приведшие к пересмотру традиционной научной картины мира, Минковский был поражён. По словам математика, Эйнштейн частенько прогуливал его лекции.



$E=mc^2$

САМОЕ ИЗВЕСТНОЕ УРАВНЕНИЕ В МИРЕ

Масса тела есть мера содержащейся в нём энергии.
Эйнштейн

Зачастую уравнения — это целые строчки латинских и греческих букв, чисел, символов. Эйнштейну удалось составить короткое уравнение, и оно тут же стало очень известным. Его можно увидеть даже на сувенирах!

СТАТЬЯ 5: ИНЕРЦИЯ ТЕЛА (27 СЕНТЯБРЯ 1905 ГОДА)

В сентябре 1905 года Эйнштейн вновь пишет своему другу Конраду Хабихту. Совсем недавно — в майском письме — говорилось о четырёх статьях, которые совершат переворот в науке, а теперь физик сообщал о пятом небывалом открытии!

Мне пришло в голову следствие из моих работ по электродинамике, и вот в чём оно заключается: принцип относительности в сочетании с фундаментальными уравнениями Максвелла требует, чтобы масса была непосредственной мерой энергии, которая содержится в теле; свет переносит массу.

Идея изумляла своей смелостью и вместе с тем красотой. Статья, которую Эйнштейн закончил 27 сентября 1905 года, была простой и краткой — всего три страницы. Но она потрясла мир.

УРАВНЕНИЕ

В самой статье Эйнштейна 1905 года знаменитого уравнения не было. Ему — а также нескольким другим учёным — понадобились годы математических расчётов, прежде чем они пришли к простой и изящной формуле: $E=mc^2$.

Что же оно означает?

E

означает энергию, единицей измерения которой служит джоуль.

=

означает «равна» или «представляет собой то же самое, что...».

ЭНЕРГИЯ И МАССА

До эйнштейновской теории относительности в физике было два важных закона.

1. Закон сохранения энергии: энергия не возникает и не исчезает. Её общее количество неизменно, она лишь переходит из одной формы в другую.

2. Закон сохранения массы: масса (общее количество вещества в объекте) не появляется и не исчезает, она лишь переходит из одной формы в другую.

Эти законы было принято воспринимать независимо друг от друга, но Эйнштейн понял, что масса объекта — это просто мера содержащейся в нём энергии.

Таким образом, вместо двух отдельных законов сохранения, возникает всего один: закон сохранения массы-энергии.

«При помощи теории относительности они объединяются в один закон», — писал Эйнштейн.

Если взять массу частицы и умножить её на квадрат скорости света (то есть на скорость света, умноженную саму на себя — огромное число!), мы узнаем, сколько энергии в ней содержится.

Даже маленькие объекты содержат много энергии: если бы мы могли полностью превратить в энергию массу лишь одной изюминки, этого количества энергии хватило бы большому городу (например, Нью-Йорку) на целый день!

Данная величина известна под названием «коэффициент пересчёта» — проще говоря, этим числом нужно воспользоваться, если мы хотим пересчитать единицы массы в единицы энергии.

В этом уравнении она составляет
299 792 458 м/с
(скорость света в метрах в секунду),
умноженное само на себя, что даёт нам
невероятно большое число
89 875 517 873 681 764 м²/с²

m

означает массу,
обычно измеряе-
мую в кило-
граммах.

c²

означает постоянную ско-
рость света в вакууме, умно-
женную саму на себя.

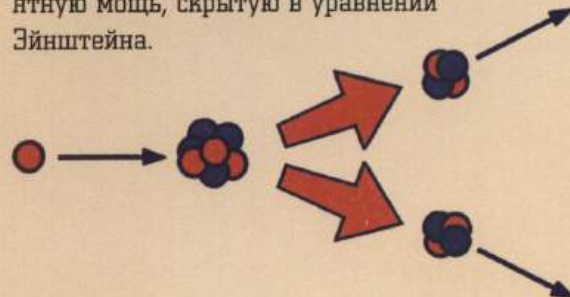
Эти две величины
перемножаются.

ПУГАЮЩАЯ МОЩЬ

В 1932 году физикам Джону Кокрофту и Эрнсту Уолтону из Кавендишской лаборатории (Великобритания) удалось проверить уравнение Эйнштейна на практике. Они экспериментально доказали возможность превращения вещества в энергию.

Физики бомбардировали быстрыми протонами ядро атома лития, вызывая его распад. В результате получалось ядро атома гелия, состоящее из связанных вместе двух протонов и двух нейтронов, и огромное количество энергии.

Через шесть лет после их эксперимента стало возможным расщепление ядра, что привело к созданию атомной бомбы. В конце Второй мировой войны, в августе 1945 года, США сбросили две атомные бомбы на японские города Хиросиму и Нагасаки. Города были полностью разрушены, количество жертв было огромным. Бомбы с ужасающей наглядностью продемонстрировали невероятную мощь, скрытую в уравнении Эйнштейна.



ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ВВЕДЕНИЕ, ЧАСТЬ I

Специальная теория относительности Эйнштейна поставила классическую физику с ног на голову. Но сам учёный понимал, что не ответил на два важных вопроса. До сих пор все его мысленные эксперименты касались объектов, движущихся с постоянной скоростью, но что произойдёт, если они будут ускоряться? И как быть с гравитацией, которая, по Ньютону, действует мгновенно на огромные расстояния — ведь ничто не может двигаться быстрее света?

СЧАСТЛИВАЯ МЫСЛЬ

Следующее после «года чудес» (1905 год) десятилетие Эйнштейн провёл в размышлениях над этими вопросами. Прорыв случился в один прекрасный день, когда Эйнштейн был занят рутинной работой. «Я сидел в кресле в патентном бюро в Берне, когда внезапно мне в голову пришла мысль, — вспоминал он в 1922 году. — Находясь в состоянии свободного падения, человек не будет чувствовать своего веса».

Он назвал эту мысль «счастливейшей в своей жизни», и она привела — сложным, причудливым, извилистым путём — к созданию общей теории относительности (ОТО).

ЧЕЛОВЕК В ЯЩИКЕ

Эйнштейн представил себе человека в обширном ящике в виде комнаты, который находится в глубоком космосе, вдали от звёзд или других объектов, обладающих гравитацией. Ящик всё быстрее и быстрее тянут через космическое пространство с помощью троса, привязанного к его крышке.

Внутри ящика человек ощущает собственный вес, а любой свешивающийся с потолка предмет — скажем, электрическая лампочка — направлен вертикально вниз. Если человек уронит монетку, та упадёт прямо к его ногам. Как будет выглядеть ситуация с точки зрения наблюдателя в ящике?

Если человеку неизвестно, что он заперт в ящике, который с ускорением тянут через космос, он просто решит, что находится на Земле и ощущает гравитацию — именно благодаря ей его ноги твёрдо стоят на полу, лампочка висит вертикально, а монетка падает на пол.

Поскольку человек не может ощутить разницы между гравитацией и инерцией (сопротивлением, которое предметы оказывают ускорению своего движения), то в силу принципа относительности все законы физики, действующие благодаря гравитации, должны оставаться верными и в случае ускорения.

Эйнштейн понял, что гравитационная масса тела равна его инерциальной массе, то есть гравитация эквивалентна инерции.

Принцип эквивалентности открывал Эйнштейну путь к дальнейшим открытиям в области гравитации.



ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ

«На вопрос: "Почему камень, который мы поднимаем и затем выпускаем из рук, падает на землю?" — обычно отвечают: "Потому что его притягивает Земля", — писал Эйнштейн в работе «О специальной и общей теории относительности» в 1917 году.

Когда Ньютон размышлял о гравитации, он считал, что Земля и камень (или в его случае яблоко) мгновенно начинали притягиваться друг к другу и сила притяжения зависела от массы объектов (или количества вещества в них) и расстояния между ними. Но как это может происходить мгновенно?

Из СТО Эйнштейн знал, что ничто в природе не может двигаться быстрее света, поэтому гравитация между двумя предметами, например Солнцем и Землей, должна распространяться с некоторой задержкой (не менее 8,3 минуты — за столько свет доходит от Солнца до Земли). В теории Ньютона явно заключалась ошибка. Идеи Джеймса Максвелла и работы Майкла Фарадея по электромагнетизму предлагали другое объяснение.

Электрический заряд создаёт вокруг себя электрическое поле, способное притягивать другие заряды. Притяжение электрического поля распространяется через пространство со скоростью света. Таким образом, если бы мы в ходе эксперимента поместили электрический заряд в центр Солнца, то эффект от этого заряда зафиксировался бы на Земле с задержкой в 8,3 минуты.

Итак, между электромагнетизмом и гравитацией наблюдается сходство, за исключением того, что источник нового поля — это масса, а источник электрического поля — электрический заряд.



ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ВВЕДЕНИЕ, ЧАСТЬ II

Эйнштейну удалось применить СТО к гравитационному полю, но существовали и более сложные случаи действия гравитации. Над ними следовало ещё подумать.

Пора снова приниматься за мысленные эксперименты!

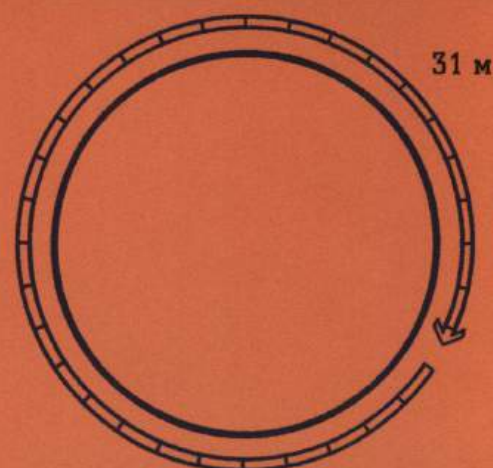
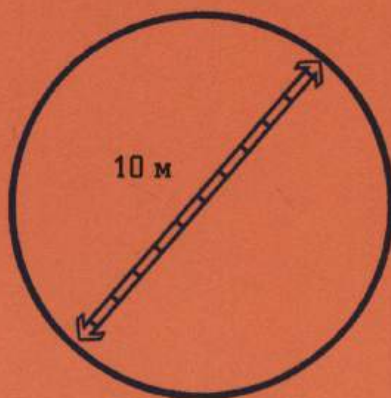
Представьте себе плоский диск, который вращается в открытом космосе. На его краю сидит человек. Если бы мы наблюдали его с расположенного рядом неподвижного диска, мы бы видели, что человек кружится, словно на карусели, и решили бы, что сила, толкающая его наружу, вызвана инерцией.

Однако человек на диске мог бы утверждать, что он вообще не кружится — кружатся предметы рядом. Что же касается силы, действие которой ощущает этот человек, он бы сказал, что это просто влияние гравитационного поля, слабеющего по мере продвижения к центру диска и нарастающего ближе к краю.



ИЗМЕРЕНИЯ

Мерной рейкой длиной в 1 метр человек измеряет диаметр своего диска: оказывается, что он равен 10 метрам. Зная диаметр окружности, можно найти её длину с помощью специального числа π («Пи»). Само это число очень длинное, и его принято округлять до сотых. Умножив число π (3,14) на диаметр (10 метров), мы получим ответ: длина окружности нашего диска составляет приблизительно 31 метр, поэтому человек мог бы уложить рейку вдоль края диска 31 раз.



НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ЧАСАМИ

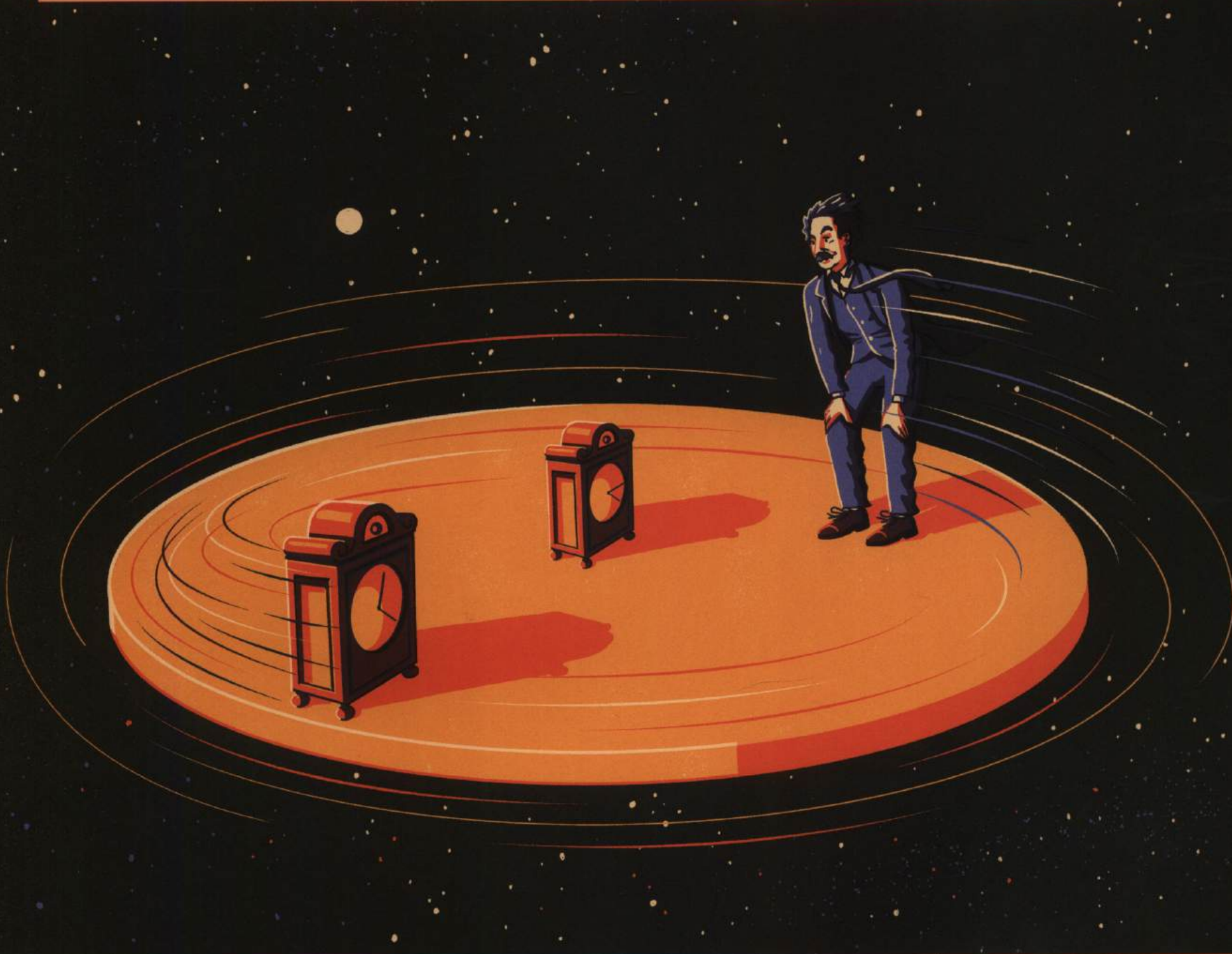
Человек на диске решает проделать некоторые эксперименты. Он помещает на диск двое одинаковых часов: одни на краю, другие в центре.

Теперь для нас, наблюдающих за событиями с неподвижного диска, часы в центре тоже неподвижны, а часы на краю мчатся через пространство с большой скоростью.

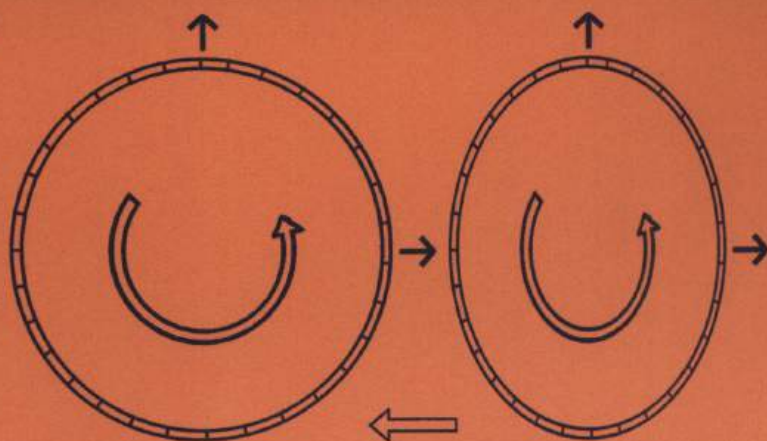
Согласно принципу замедления времени из СТО, время может идти по-разному в зависимости от того, движетесь ли вы или стоите на месте. Таким образом, мы бы увидели, что на часах у края диска прошло меньше времени, чем на часах в центре.

Между тем человек на вращающемся диске считал бы, что и те и другие часы неподвижны, но при этом часы на краю диска идут медленнее. Что же происходит?

Гравитация и инерция эквивалентны (мы знаем это из мысленного эксперимента с человеком в ящике), поэтому, хотя извне мы видим, что разница в ходе времени обусловлена ускорением, Эйнштейн сделал другой вывод: «В любом гравитационном поле часы будут идти быстрее или медленнее в зависимости от места, где они расположены (покоятся)».



Но для нас, наблюдателей с неподвижного диска, происходит нечто странное: длина метровой рейки, которую укладывают вдоль края диска, кажется меньше, чем 1 метр! Почему? — Из-за сокращения длины. Помните, что мчащиеся на большой скорости поезда кажутся короче тем, кто относительно них неподвижен?



Поскольку вращение — это просто ускорение в точках на окружности и (как и в том ящике в космосе) оно проявляет себя сходным с гравитацией образом, Эйнштейн сделал вывод, что СТО можно применить не только к предметам, движущимся с ускорением по прямой, но и к вращающимся. А ещё он понял, что, когда речь заходит о гравитации, обычные законы геометрии не работают.



СТРАННЫЕ ОТКРЫТИЯ ЭЙНШТЕЙНА

Благодаря ОТО Эйнштейн сумел расширить свою СТО и приложить её к случаям движения с ускорением (а не только к движению с постоянной скоростью) и к гравитации.

В ходе работы он обратил внимание на несколько странных фактов.

ИЗГИБ СВЕТОВОГО ЛУЧА

Представьте себе крошечное отверстие в стенке ящика, который тянут через космос. Что произойдёт, если ящик будет ускоряться, а через отверстие пройдёт луч света?

За то время, которое понадобится лучу, чтобы пройти ящик насквозь (со скоростью света, разумеется), ящик сдвинется вверх. В результате луч коснётся противоположной стены в точке, которая находится ниже той, что лежит напротив отверстия.

Проследив путь светового луча, мы заметим, что за время движения внутри ящика он искривился.

Если теперь применить принцип эквивалентности (помните, что человек в ящике не отличит ускорение от гравитации), то...

...луч должен искривляться и в гравитационном поле — к такому выводу пришёл Эйнштейн.

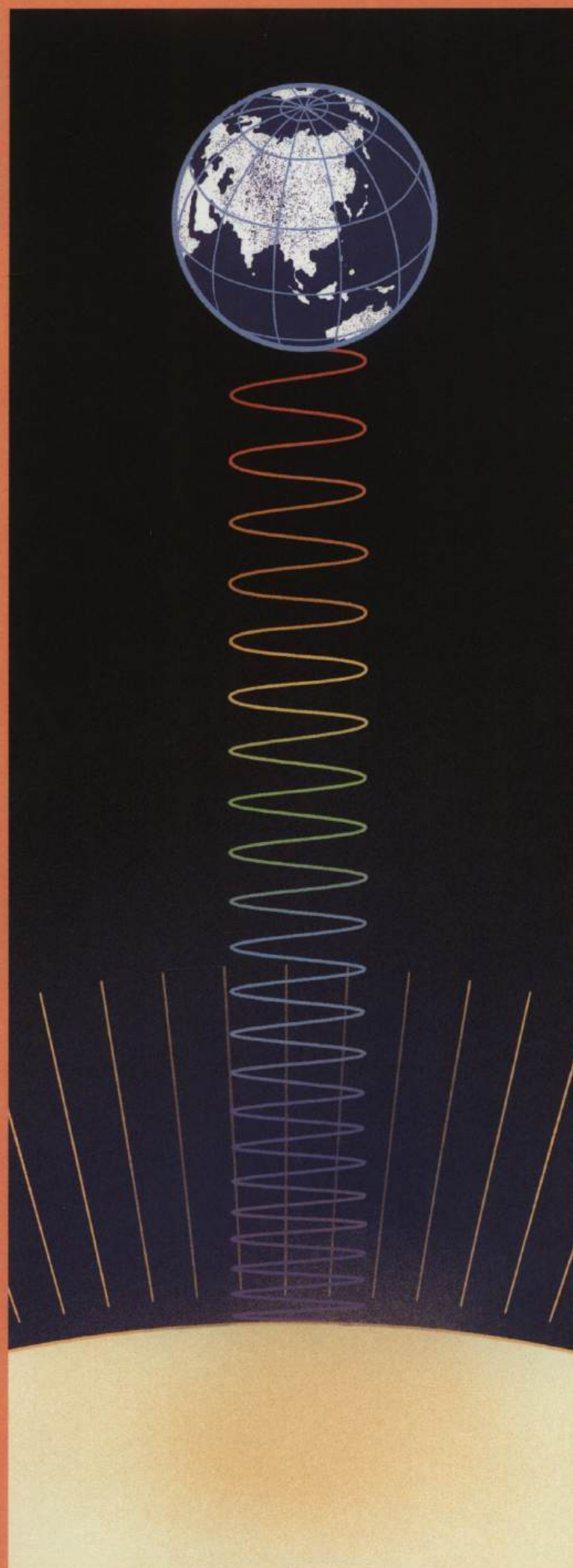
Конечно, это искривление настолько мало, что в повседневной жизни измерить его почти невозможно. Но Эйнштейн вычислил, что лучи света, проходящие мимо Солнца (тела большой массы с сильным гравитационным полем), отклонятся на 1,7 угловой секунды. Заметим, что угловая секунда — это совсем небольшой угол, всего $1/3600$ градуса!

Вычисления нужно было проверить экспериментально. Эйнштейн дождался полного солнечного затмения 29 мая 1919 года, во время которого астрономы смогли наблюдать положение звёзд за Солнцем. Они выяснили, насколько светило отклоняет лучи этих звёзд по сравнению с периодом, когда оно отсутствует на небосклоне.

ГРАВИТАЦИОННОЕ КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ

Несмотря на то что скорость света всегда одна и та же, длина световой волны может увеличиваться и уменьшаться, меняя при этом цвет. Так, у синего света длина волны короче, чем у красного.

Пока свет движется через искривлённое пространство-время, его цвет изменяется из-за замедляющего эффекта гравитации. Скорость света, конечно, неизменна. Но, когда свет движется от более сильного гравитационного поля Солнца к более слабому полю Земли, меняется длина его волны и, соответственно, цвет — от синего, высокочастотного, конца спектра к красному, где частота меньше.



ФОРМА ВСЕЛЕННОЙ

*Понятие прямой линии также теряет смысл.
Эйнштейн. Теория относительности*

ИСКРИВЛЁННОЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ

Вселенная, заявил Эйнштейн, не бескрайняя пустота, в которой кое-где встречаются звёзды и планеты, но пространство, искривлённое и искажённое гравитацией. На самом деле, гравитация и есть искривление пространства-времени.

Представим, что Вселенная — это огромный батут. Если положить на него в центре тяжёлый шар для боулинга, он оттянет полотно батута вниз. Бросьте на батут теннисный мяч или мячик для пинг-понга — и этот мячик покатится к шару для боулинга — «притянется» к нему.

Чем больше масса предмета — неважно, шара для боулинга на батуте или звезды, подобной нашему Солнцу, в космосе, — тем больше он будет искажать пространство-время вокруг себя. Если поместить на батут несколько шаров разной массы, его полотно будет деформировано. Этот пример наглядно показывает, как выглядит Вселенная.

ИЗ ТОЧКИ А В ТОЧКУ Б

Поставьте две точки на листе бумаги. Что будет кратчайшим путём между ними? Прямая, разумеется.

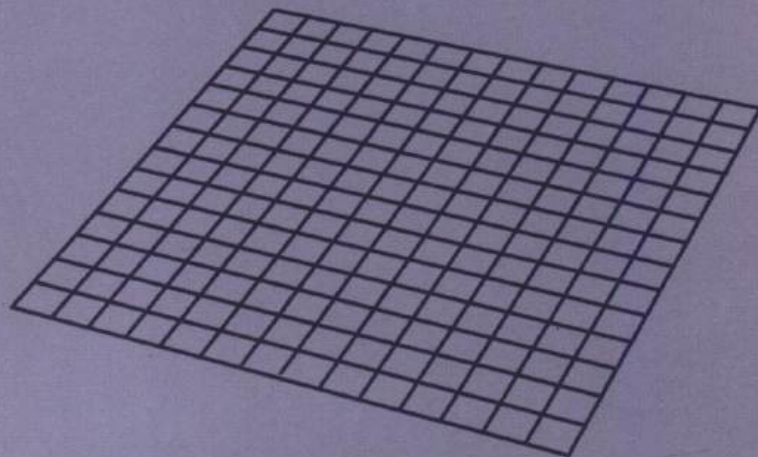
Чтобы рассчитать расстояние между двумя точками на карте или, например, найти углы треугольника, вполне подходит евклидова геометрия, но в четырёхмерном пространстве всё немного усложняется.

В евклидовой геометрии требуется всего три координаты, чтобы определить положение любой точки: x , y , z . Но в неевклидовой геометрии, которая описывает искривлённое пространство-время, кратчайшим путём между двумя точками будет не прямая, а кривая. Эйнштейн определил, что найти расстояние в таком случае можно, только решив десять уравнений для каждой координаты.

КАКОВА ЖЕ ФОРМА ВСЕЛЕННОЙ?

Эйнштейн пришёл к выводу, что Вселенная «конечна, но не имеет границ». Как такое может быть?

Представьте себе, что находитесь на плоской планете и идёте по ней в любом направлении. Что произойдёт, когда вы достигнете края? Вы просто упадёте!



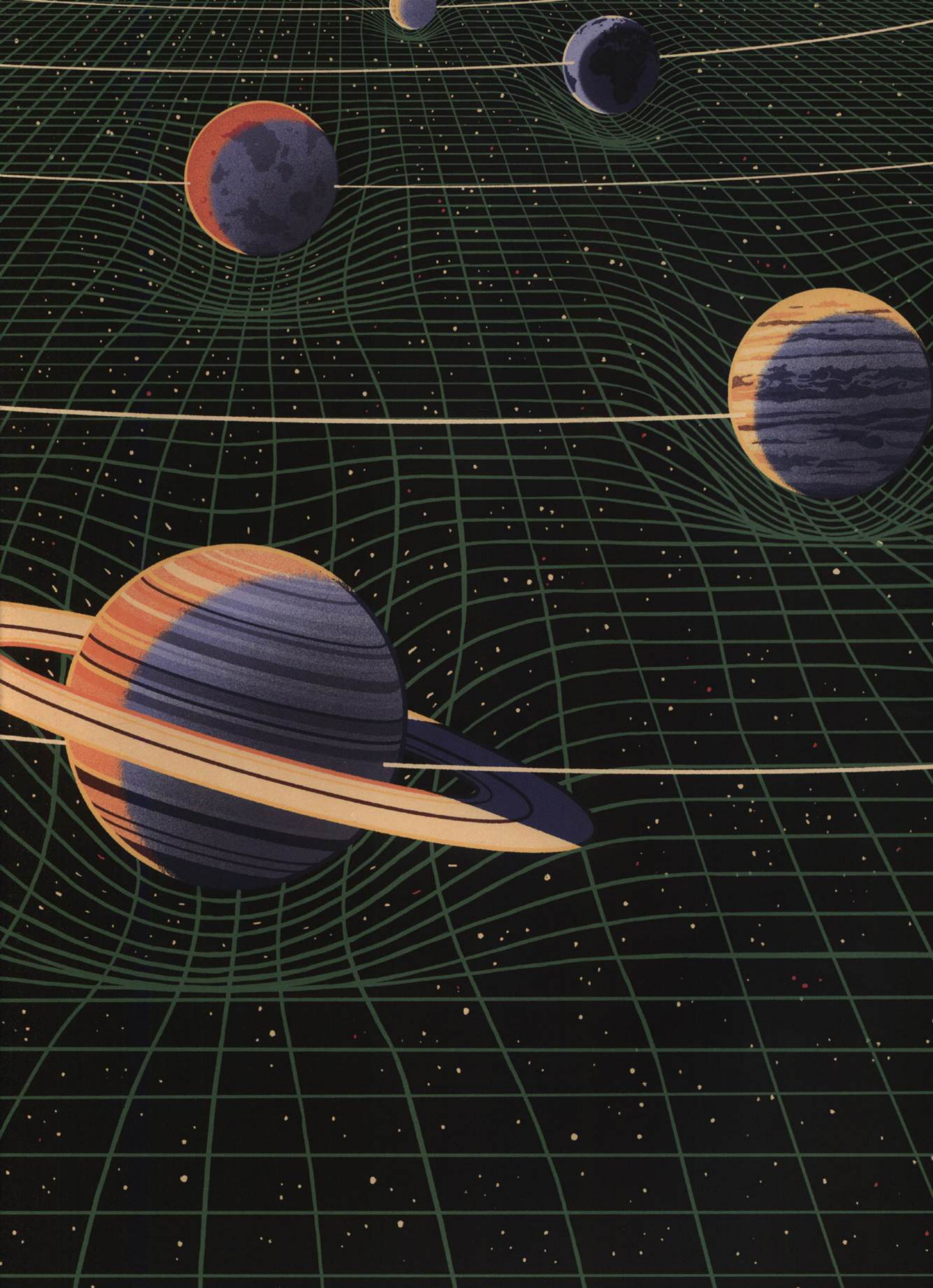
А теперь скатаем эту поверхность в шар. По ней тоже можно идти в любом направлении, и она всё так же кажется плоской (её кривизна невелика), но если долго идти в одном направлении, то вернёшься в ту же точку, из которой вышел.

Вселенная имеет точно такую же форму — но искривлена она в четырёхмерном пространстве.

Можно двигаться сколько угодно в любом направлении и никогда не достичь края Вселенной. В конце концов вы окажетесь там же, откуда начали свой путь.



Мало того, Вселенная ещё и расширяется, и все точки в пространстве удаляются друг от друга!



ЕСТЬ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА!

КАК БЫЛА ПРОВЕРЕНА ТЕОРИЯ ЭЙНШТЕЙНА

С Земли некоторые звёзды видятся находящимися близ Солнца, и, таким образом, их можно наблюдать во время полного солнечного затмения. В такие моменты эти звёзды должны казаться лежащими дальше от Солнца по сравнению с их положением, наблюдаемым тогда, когда Солнце находится в другой точке небосвода.

Эйнштейн

Эйнштейн предложил три способа проверки ОТО. 1. Применить его уравнения для объяснения необычной орбиты Меркурия, которая смещается при каждом обороте планеты вокруг Солнца. 2. Проверить утверждение об искривлении лучей света из-за гравитации.

3. Исследовать гравитационное красное смещение, которое должно было показать, что хотя скорость света постоянна, но длина световой волны (и, соответственно, её цвет) меняется под действием гравитации. Самым важным — и самым сложным — оказался второй способ.

ПЕРВАЯ ПОПЫТКА

В 1914 году, прежде чем опубликовать окончательную версию ОТО, Эйнштейн запланировал экспедицию для проверки своих расчётов. Он привлёк к работе молодого берлинского астронома Эрвина Финлей-Фройндлиха, который отправился в Крым наблюдать полное солнечное затмение 21 августа 1914 года. Фройндлих должен был сделать фотоснимки и произвести все нужные измерения.

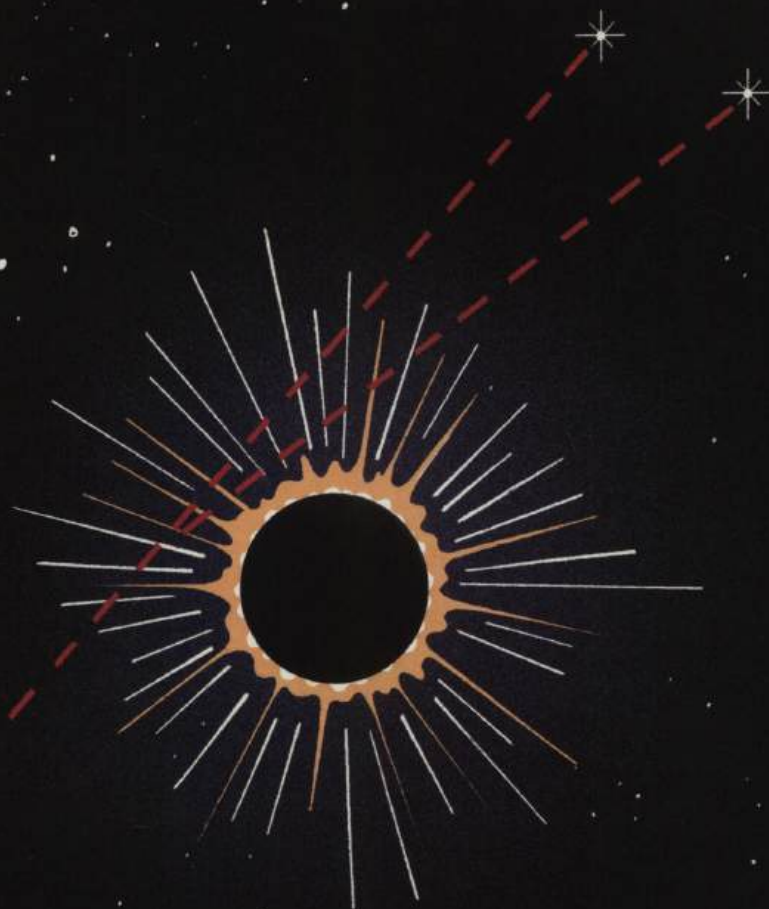
Эйнштейн полагал, что эти измерения покажут искривление лучей света, идущих от звёзд к Земле.

Но началась Первая мировая война. Германия объявила войну России, и Фройндлих был задержан как гражданин вражеского государства (потом его обменяли на пленного русского офицера). К тому же день затмения выдался облачным, так что, если бы Фройндлих и добрался до места, он всё равно не смог бы провести фотосъёмку. Казалось, что всё идёт не так!



СНОВА ЗА ПИСЬМЕННЫЙ СТОЛ

Хотя Эйнштейн в то время считал, что ему не повезло, в итоге провал поездки Фройндлиха обернулся для него удачей. Оказалось, что учёный ошибся в расчётах! Если бы экспедиция прошла, как было запланировано, она опровергла бы его теорию. Но, к счастью для Эйнштейна, этого не произошло. Он уточнил и исправил свои расчёты. В конце концов физик пришёл к выводу, что свет звёзд на самом деле будет отклоняться на 1,7 угловой секунды — а не на 0,85, как он вычислил сначала. Следующее солнечное затмение должно было произойти только в 1919 году, так что Эйнштейну пришлось ждать несколько лет.



ВТОРАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ

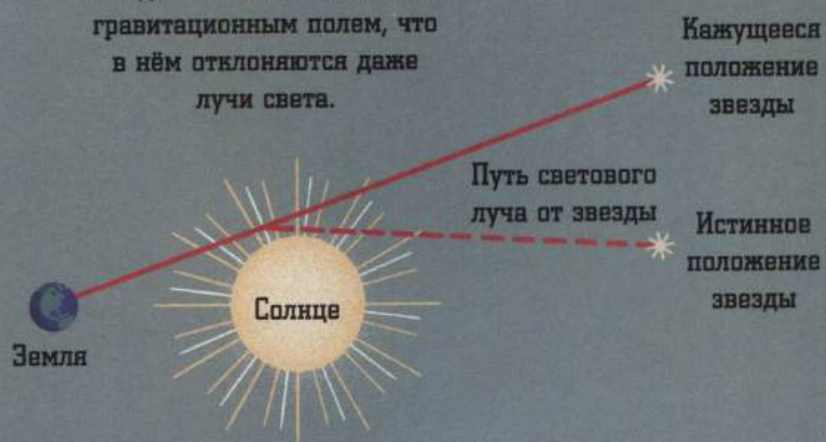
29 мая 1919 года директор Кембриджской обсерватории Артур Эддингтон сделал снимки, которые наконец доказали справедливость ОТО.

Экспедиция под руководством Эддингтона разделилась и отправилась в два места: на остров Принсипи близ западного побережья Африки и в джунгли Амазонки на севере Бразилии.

Когда началось затмение, шёл дождь, но затем облака рассеялись и удалось сделать фотографии звёзд вокруг Солнца. К осени 1919 года, после месяцев напряжённого ожидания, которые понадобились учёным на то, чтобы добраться домой и проявить драгоценные фотопластинки, результаты наконец были получены...

Гравитация Солнца действительно искривляла лучи света. Эйнштейн был прав!

Эйнштейн понял, что массивные объекты, такие как Солнце, обладают настолько сильным гравитационным полем, что в нём отклоняются даже лучи света.



Из-за этого во время солнечного затмения кажется, что звёзды сдвинуты по сравнению с их положением на небосводе в обычных условиях.

ПУБЛИКАЦИЯ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

*Пусть этот труд подарит кому-нибудь несколько часов радости,
несколько часов плодотворных размышлений!*

Эйнштейн в предисловии к «Теории относительности»

Опубликовав ОТО в 1915 году, Эйнштейн взялся за написание брошюры, призванной объяснить широкой публике суть его открытий. Его задачей было дать «точное представление о теории относительности читателям, интересующимся ею с общенаучной, философской точки зрения, но не владеющим математическим аппаратом теоретической физики».

Свою брошюру Эйнштейн закончил в 1916 году, и в начале 1917 года она была опубликована на немецком языке.

МИРОВОЙ БЕСТСЕЛЛЕР

Нельзя сказать, чтобы Эйнштейн был удовлетворён. Он считал своё объяснение теории неуклюжим, «деревянным».

Тем не менее брошюра имела огромный успех во всём мире.

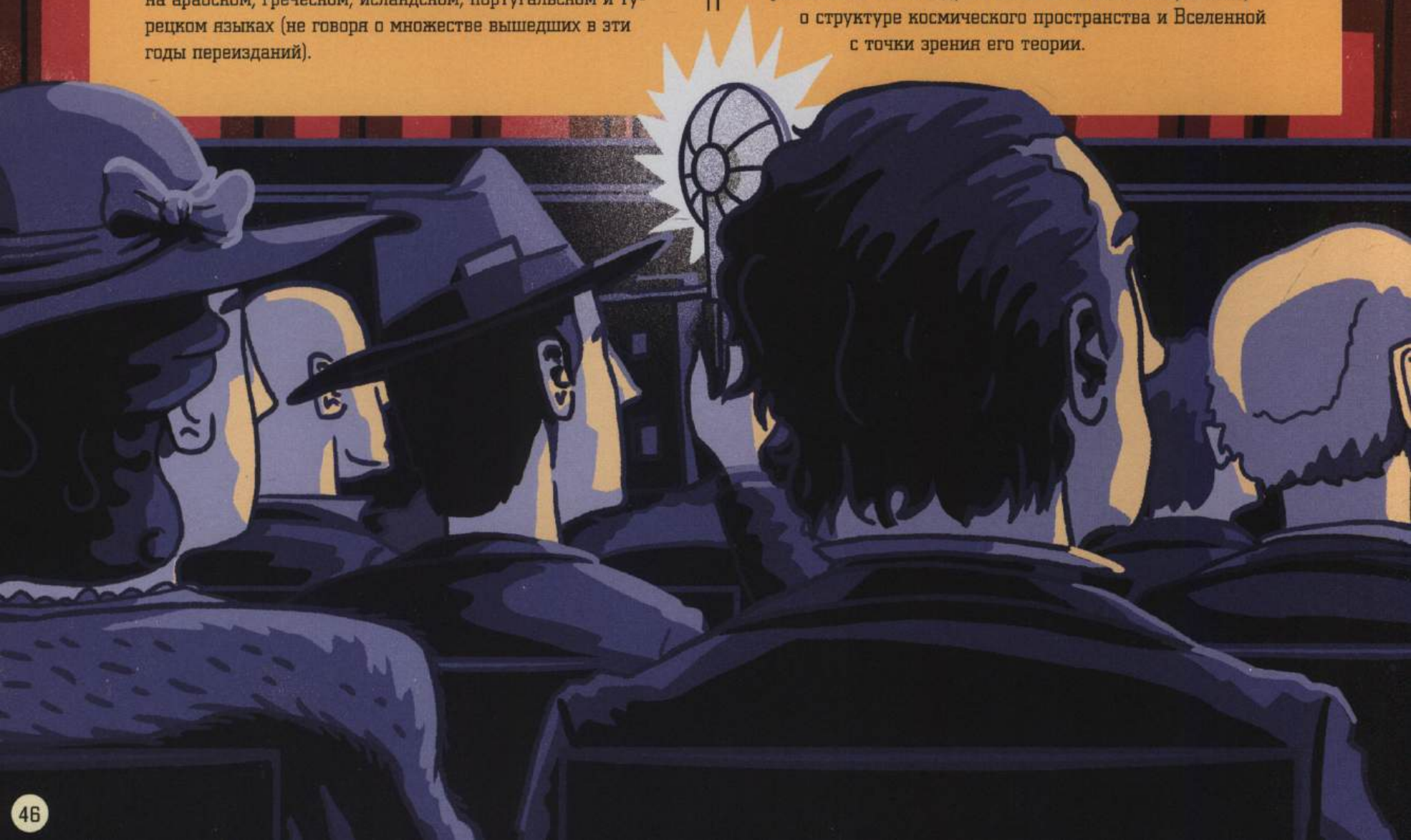
В течение всего нескольких лет с момента публикации её перевели на десять языков, включая русский, французский, японский и китайский.

Эйнштейн путешествовал по миру и читал лекции о своих открытиях; успех его книги рос, и она увидела свет на арабском, греческом, исландском, португальском и турецком языках (не говоря о множестве вышедших в эти годы переизданий).

ПРОДОЛЖЕНИЕ СЛЕДУЕТ

Но популярность его книги стала расти всё же, только когда в 1919 году теория относительности получила экспериментальное подтверждение в ходе экспедиции Артура Эддингтона.

Эйнштейн добавил в брошюру главу об экспериментальном доказательстве теории — фиксации искривления солнечных лучей. Но и на этом он не прекратил работу: на протяжении почти тридцати лет с момента выхода первого издания учёный дополнял книгу новыми материалами. В 1946 году он включил в неё важную главу о структуре космического пространства и Вселенной с точки зрения его теории.



$$E = MC^2$$



$$\frac{1}{c} \frac{dL}{dt} = \frac{1}{c} \frac{1}{P} \frac{dP}{dt}$$

$$\frac{1}{P^2} \frac{P_0 - P}{P} \sim \frac{1}{P^2} \quad (1a)$$

$$\frac{K_0}{3} \frac{P_0 - P}{P} \sim K_0 \quad (2a)$$

$$\sim 10^{-53}$$

$$\sim 10^{-26}$$

$$10^8 \text{ g, y}$$

$$\sim 10^{10} (10^{11}) \text{ y}$$

$$\Psi(x, y) = \sum_n c_n g_n(x)$$

$$\int g_k^*(x) g_k(x) dx$$

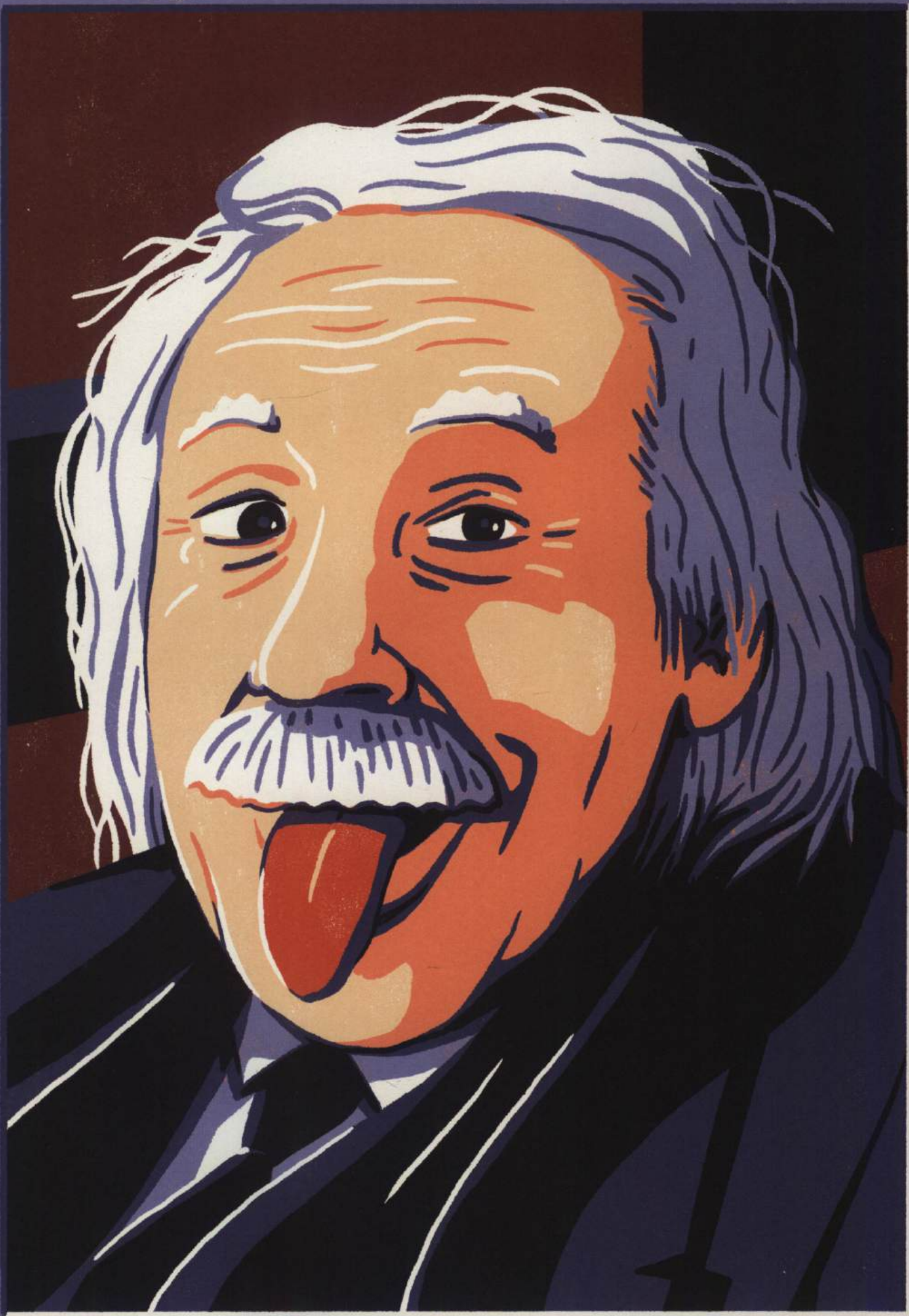
$$g_k g_k(x) = \int f_k^*(y)$$

$$\Psi(x_1, x_2) = \sum_{n=1}^{\infty} \psi_n(x_2)$$

$$\Psi(x_1, x_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_p(x_2) dx_2$$

$$\psi_p(x_2) = e^{-(2\pi i/h)(x_2)}$$





ЭЙНШТЕЙН — ЗНАМЕНИТОСТЬ

«Когда слепой жучок ползёт вдоль кривой ветки, он не замечает кривизны своего пути. Мне посчастливилось заметить то, чего не замечает жучок», — так Эйнштейн объяснял свою известность сыну Эдуарду.

Спустя всего год после окончания кровопролитной Первой мировой войны, которая разделила Европу на два враждующих лагеря, невероятная научная теория стала примиряющей силой: работа над ней объединила учёных разных стран.

МГНОВЕННЫЙ УСПЕХ

После того как экспедиция Эддингтона 1919 года, предпринятая ради наблюдения за солнечным затмением, подтвердила расчёты Эйнштейна, его теория завладела умами людей во всём мире — даже если на самом деле они не понимали её.

Заголовки газет восклицали:

**ИСКАЖЁННЫЙ СВЕТ ЗВЁЗД!
УЧЁНЫЕ ПОТРАСЕНЫ
РЕЗУЛЬТАТАМИ НАБЛЮДЕНИЙ
ЗА ЗАТМЕНИЕМ**

«Нью-Йорк таймс»

СУМАСШЕДШИЙ ПРОФЕССОР

Своей известностью отчасти Эйнштейн был обязан тому, как он выглядел. Его образ был запоминающимся.

Растрёпанные кудри, лёгкая небрежность в одежде, сложные теории и одновременно желание не замыкаться в мире формул, а объяснить свои идеи обычным людям — всё это мгновенно сделало его популярным.

И слегка карикатурный образ гениального учёного, который сегодня растиражирован в массовой культуре, в фильмах и книгах, появился благодаря Эйнштейну.

Эйнштейн приобрёл огромную популярность, стал публичной персоной — звездой, как бы мы сейчас сказали. В то время знаменитостей было совсем немного, Эйнштейн же не возражал против внимания к своей персоне, охотно фотографировался и давал интервью. В 1931 году Эйнштейн и его вторая жена Эльза во время поездки по Америке встретились с актёром Чарли Чаплином, который пригласил их на премьеру своего фильма «Огни большого города». Есть их совместная фотография: самый знаменитый в мире учёный и самый знаменитый в мире актёр. Но мировую известность получил другой снимок Эйнштейна — тот, на котором он показывает язык! Этот образ воспроизводят на постерах, открытках, футболках, граффити!

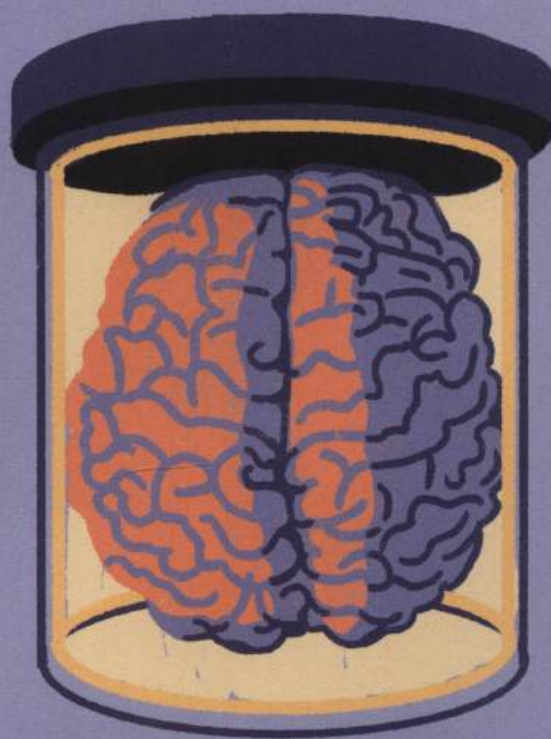
МОЗГ ЭЙНШТЕЙНА

Что такое гениальность и откуда она берётся?

Когда Альберт Эйнштейн умер в 1955 году в возрасте 76 лет, произошла очень странная, почти детективная история. Патологоанатом Томас Харви из Принстонского госпиталя, где скончался учёный, тайно, без разрешения родных, изъяс его мозг, прежде чем тело было кремировано!

Эйнштейн обладал исключительными мыслительными способностями, и Харви хотел сохранить его мозг для исследований, которые, возможно, раскрыли бы тайну гениальности учёного.

Харви взвесил мозг (его вес был 1230 граммов), рассёк его на 240 сегментов и аккуратно поместил в две большие ёмкости с формалином. Так мозг хранился несколько десятилетий.



Было опубликовано несколько работ, посвящённых мозгу Эйнштейна, однако никаких сенсационных открытий в них не содержалось. В 1998 году вышла статья нейropsychолога Сандры Уителсон «Исключительный мозг Альберта Эйнштейна». Мозг изучали в Макмастерском университете в Канаде, и Уителсон выяснила, что он выглядит несколько иначе, чем мозг других людей.

Но по-прежнему неизвестно, эти ли отличия определяли гениальность Эйнштейна.

1921 ГОД — НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

«За заслуги в области теоретической физики и особенно за открытие закона фотоэлектрического эффекта», — так Нобелевский комитет обосновал присуждение премии Эйнштейну.

В ноябре 1922 года было объявлено, что Эйнштейну вручается Нобелевская премия по физике за 1921 год, но не за теорию относительности, сделавшую из него мировую знаменитость. Премия присуждалась за открытие фотоэлектрического эффекта, которое он опубликовал ещё в 1905 году.

Вообще-то впервые Эйнштейна выдвинули на Нобелевскую премию в 1910 году — и именно за СТО. Тогда члены Нобе-

левского комитета сочли, что смелые идеи учёного недостаточно хорошо проверены. Шли годы, и Эйнштейна всё-таки удостоили премии, но за фотоэлектрический эффект, а не за теорию относительности.

Церемония награждения проводилась в декабре в Швеции, однако Эйнштейн вместо неё предпочёл отправиться с лекциями в Японию.

ЧТО ТАКОЕ НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ?

Нобелевская премия — одна из самых известных и престижных наград в мире.

Каждый год (начиная с 1901 года) комитет, собирающийся в столице Швеции, Стокгольме, присуждает премии за наиболее важные для человечества открытия в физике, химии, медицине, экономике и за выдающиеся успехи в области литературы. Кроме того, вручают премию за вклад в укрепление мира.

Премия была учреждена на деньги Альфреда Нобеля, шведского химика, изобретателя и предпринимателя, создателя динамита.

Имена лауреатов объявляют на торжественной церемонии в Швеции. Им вручают золотую медаль, великолепно украшенный диплом, над которым трудятся лучшие художники Швеции и Норвегии, а также большой денежный приз (сейчас это девять миллионов шведских крон, что составляет более 760 000 фунтов стерлингов). Лауреаты выступают с мемориальной нобелевской речью.



ДЕНЕЖНЫЙ ПРИЗ

Когда Эйнштейн только начинал свою работу, он обсуждал свои идеи с первой женой, физиком Милевой Марич. Она же проверяла математические расчёты в работах Эйнштейна перед публикацией.

У пары было трое детей (дочь и двое сыновей), но их брак распался. Эйнштейн пообещал Милеве Марич, что, когда он получит Нобелевскую премию (он был абсолютно уверен, что рано или поздно это произойдёт!), призовые деньги достанутся ей.

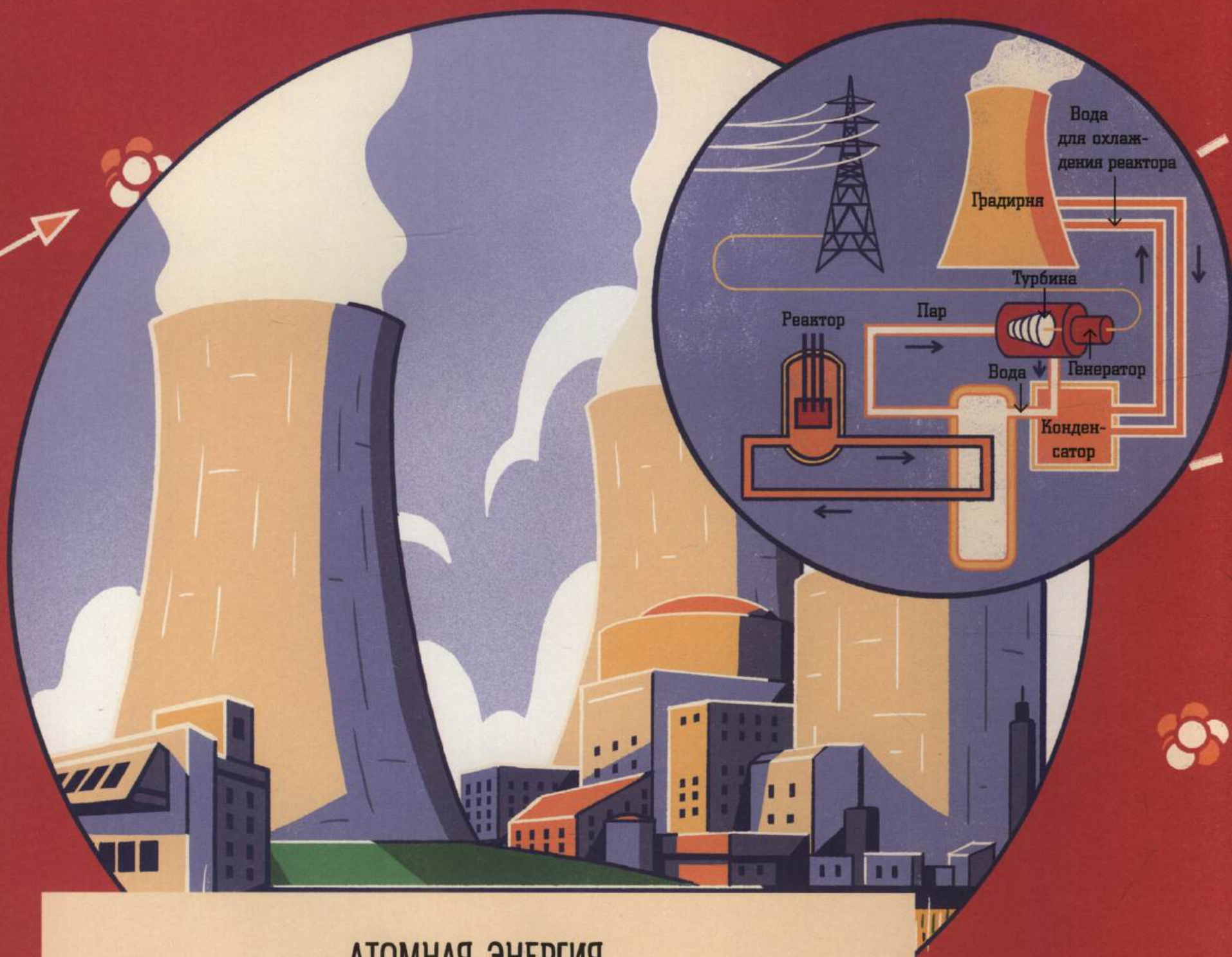
Став нобелевским лауреатом, Эйнштейн так и поступил: отдал денежный приз бывшей жене.



ИДЕИ ЭЙНШТЕЙНА В ДЕЙСТВИИ

Без открытий Эйнштейна наш мир выглядел бы совершенно иначе. Многие из того, чем мы пользуемся сегодня в повседневной жизни, создано на основе идей учёного.

Вот лишь некоторые изобретения, за которые мы можем его поблагодарить.



АТОМНАЯ ЭНЕРГИЯ

В СТО говорится о том, что масса тела — это мера содержащейся в нём энергии. Эта мысль заключена в знаменитом уравнении $E = mc^2$.

Принцип работы атомных электростанций (небольшое количество урана даёт большое количество энергии) основан именно на этом открытии. Внутри атомного реактора уран бомбардируют мельчайшими субатомными частицами — нейтронами. Поглощая нейтроны, атомные ядра урана начинают делиться, и при этом высвобождается энергия.

Эту энергию используют для нагрева воды, которая превращается в пар. Пар вращает турбину, а она вырабатывает электричество. Электричество затем используется в городах и посёлках, в домах и учреждениях, школах и больницах — словом, повсюду.

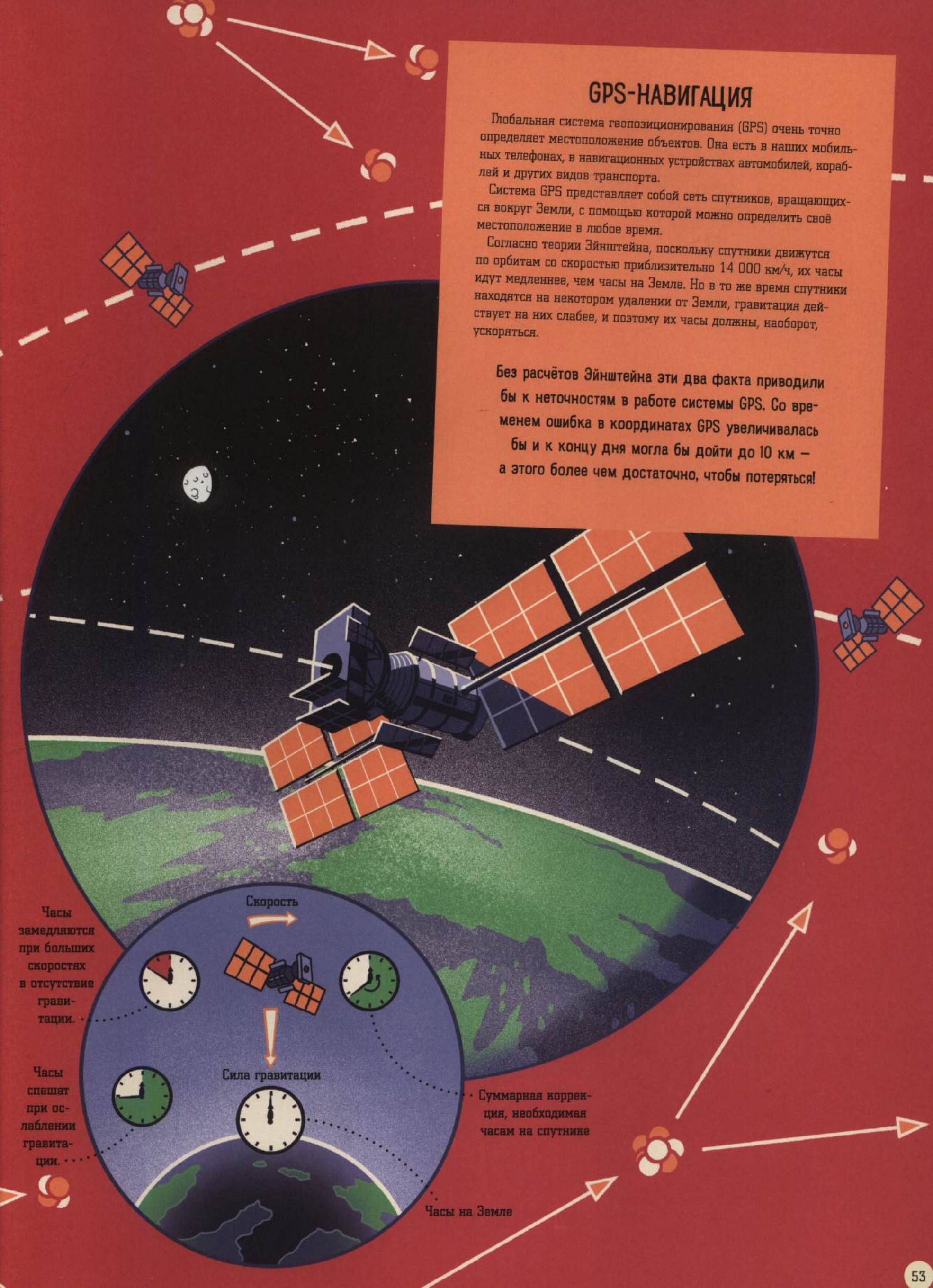
GPS-НАВИГАЦИЯ

Глобальная система геопозиционирования (GPS) очень точно определяет местоположение объектов. Она есть в наших мобильных телефонах, в навигационных устройствах автомобилей, кораблей и других видов транспорта.

Система GPS представляет собой сеть спутников, вращающихся вокруг Земли, с помощью которой можно определить своё местоположение в любое время.

Согласно теории Эйнштейна, поскольку спутники движутся по орбитам со скоростью приблизительно 14 000 км/ч, их часы идут медленнее, чем часы на Земле. Но в то же время спутники находятся на некотором удалении от Земли, гравитация действует на них слабее, и поэтому их часы должны, наоборот, ускоряться.

Без расчётов Эйнштейна эти два факта приводили бы к неточностям в работе системы GPS. Со временем ошибка в координатах GPS увеличивалась бы и к концу дня могла бы достичь до 10 км — а этого более чем достаточно, чтобы потеряться!



Часы замедляются при больших скоростях в отсутствие гравитации.

Часы спешат при ослаблении гравитации.

Скорость

Сила гравитации

Суммарная коррекция, необходимая часам на спутнике

Часы на Земле

ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

Оптическое волокно — это тонкая нить из прозрачного материала (стекла, пластика), по которой свет перемещается на большие расстояния. Толстые кабели, состоящие из множества таких нитей, проходят по дну океана, и информация по ним передаётся с континента на континент.

Интернет — это миллионы компьютеров, соединённых друг с другом и обменивающихся информацией с помощью таких кабелей. Информация распространяется по всему миру в виде лучей света, которые передаются по стеклянным нитям. Каждая нить в десять раз тоньше человеческого волоса, а кабель содержит пучки из сотен таких нитей.

Скорость распространения информации по оптическому волокну составляет две трети от скорости света, а это означает, что с человеком на другой стороне земного шара можно общаться с задержкой всего в долю секунды.

Чтобы отправить сообщение, информация на компьютере кодируется и передаётся лазером в виде последовательности кратких импульсов. Свет движется по кабелю, отражаясь от стенок нитей, и принимается фотозлементом на другом конце кабеля.

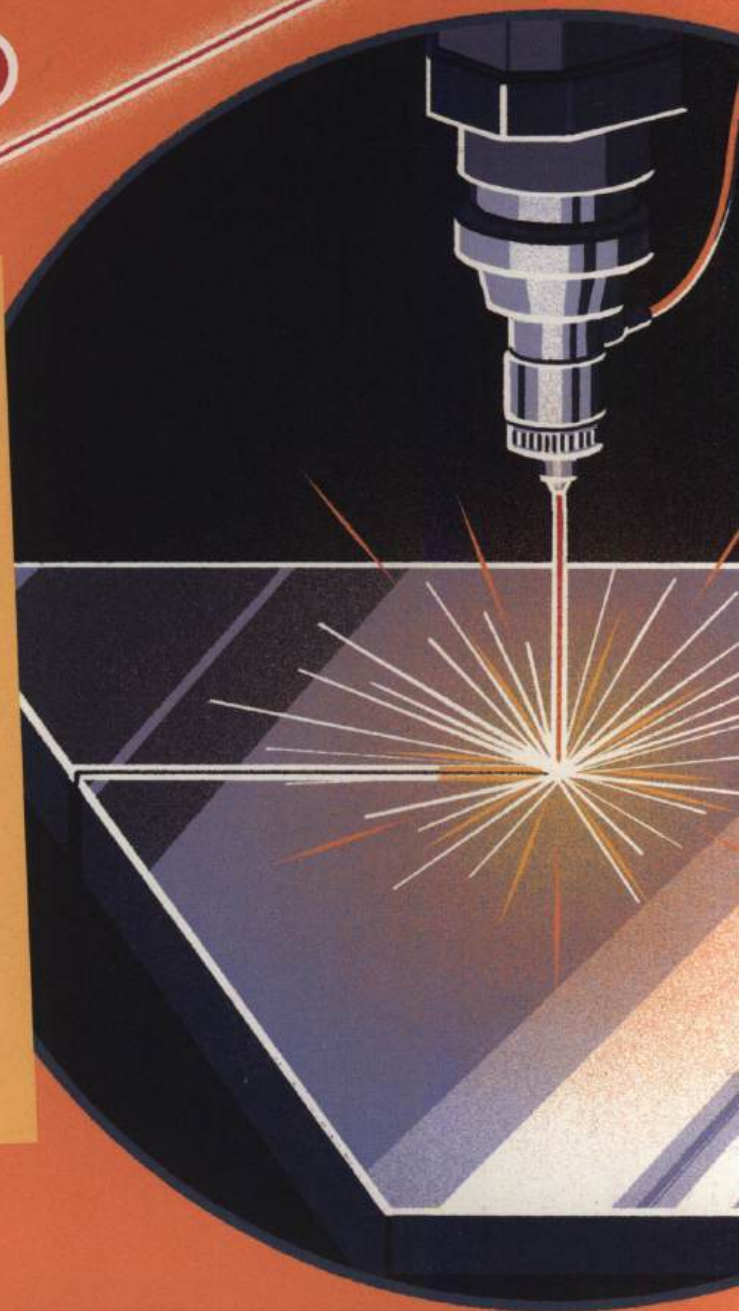
ЛАЗЕРЫ

В 1917 году Эйнштейн предположил, что на основе описанного им явления вынужденного излучения (атом «вынуждают» излучать фотоны) возможно создать устойчивый сконцентрированный поток света.

В 1960-е годы советские и американские учёные смогли построить первый компактный лазер, основанный на идее Эйнштейна. Слово «лазер» — это сокращение английского «Light amplification by stimulated emission of radiation» («усиление света посредством вынужденного излучения»).

Лазер даёт свет, который распространяется узким тонким лучом на большие расстояния, не рассеиваясь. Лазерный луч может быть окрашен в определённый цвет.

С помощью лазеров решают множество задач. Ими измеряют расстояния и размечают прямые линии при строительстве, сканируют со спутников земную поверхность для составления карт. В магазинных сканерах лазер считывает штрихкод товара, в хирургии с его помощью проводят сложные операции, а в компьютерах лазер используется для чтения информации с дисков.



ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

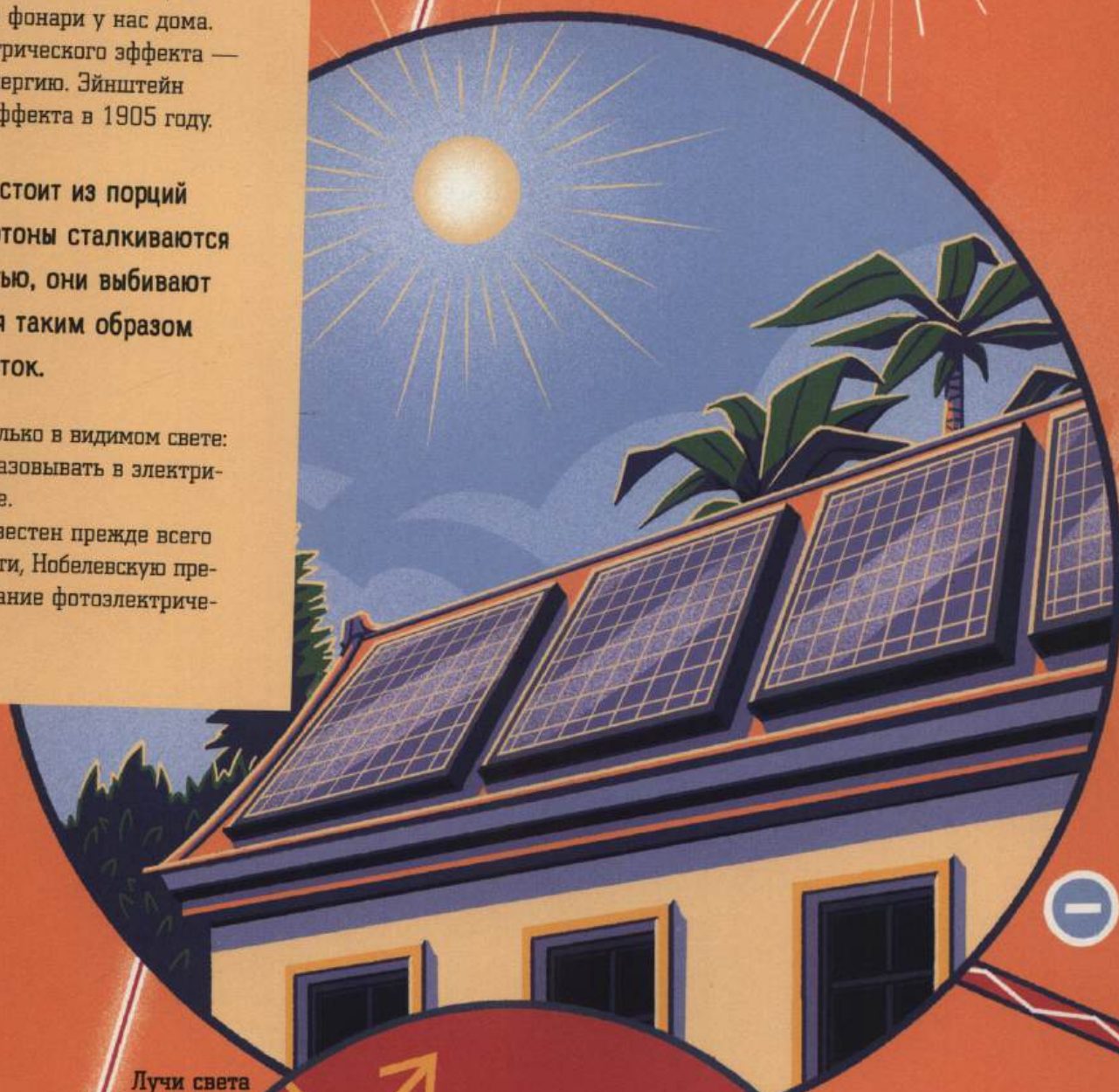
У этих приборов множество областей применения: например, они питают карманные калькуляторы, служат основой генерирующих электроэнергию солнечных батарей, заставляют срабатывать охранную сигнализацию или включают уличные сенсорные фонари у нас дома.

Они работают за счёт фотоэлектрического эффекта — преобразования света в электроэнергию. Эйнштейн описал и объяснил явление фотоэффекта в 1905 году.

Учёный понял, что свет состоит из порций энергии — фотонов. Когда фотоны сталкиваются с металлической поверхностью, они выбивают из неё электроны, создавая таким образом электрический ток.

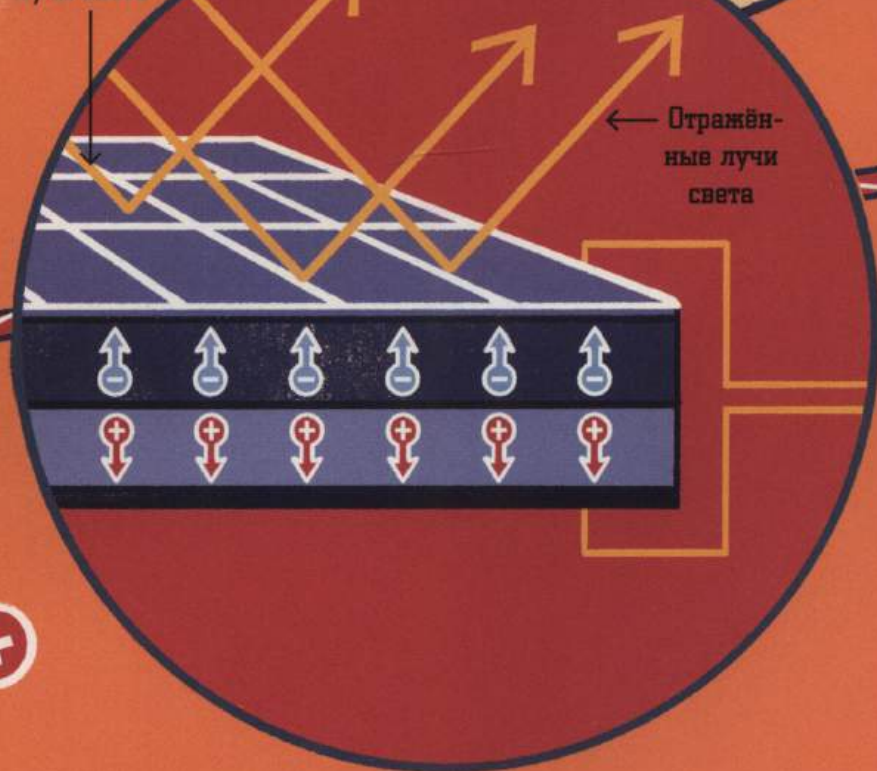
При этом фотоны действуют не только в видимом свете: точно так же они способны преобразовывать в электричество ультрафиолетовое излучение.

Несмотря на то что Эйнштейн известен прежде всего как создатель теории относительности, Нобелевскую премию по физике он получил за описание фотоэлектрического эффекта.



Лучи света

Отражённые лучи света



ЧТО НАМ ИЗВЕСТНО СЕГОДНЯ: ЧАСТЬ I

Когда Эйнштейн публиковал ОТО, оставалось ещё много непрояснённых деталей. Даже сегодня (а с тех пор прошло больше ста лет!) учёные продолжают открывать новые свойства Вселенной, отталкиваясь от идей Эйнштейна.

ЧЁРНЫЕ ДЫРЫ

ОТО была опубликована в 1915 году, и одним из первых учёных, сумевших развить идеи Эйнштейна, был немецкий физик и астроном Карл Шварцшильд.

Несмотря на невероятную сложность математических расчётов, Шварцшильд нашёл точные решения для системы уравнений в ОТО. В его работе, напечатанной в 1916 году, впервые упоминается о теоретической возможности существования во Вселенной странных объектов...

СЖИМАЯСЬ В ТОЧКУ

Объекты, о которых писал Шварцшильд, можно без преувеличения назвать экстраординарными.

Если масса гигантской звезды (намного больше Солнца) окажется сжатой в небольшую точку, пространство-время искривится настолько, что замкнётся в себе.

Всё, что находится в пределах достижимости для этой сверхплотной точки в космосе, не сможет развить скорости, достаточной для преодоления её гравитации, — даже свет! А в центре этого странного объекта, согласно теории Эйнштейна, время остановится!

Эйнштейн, хотя и был впечатлён работой Шварцшильда, не верил, что гигантская звезда может сжаться до точки с огромной плотностью.

Спустя годы после смерти Эйнштейна учёные обнаружили, что такие объекты не только существуют, но и представляют собой обычное явление во Вселенной. Их метко называли чёрными дырами (термин впервые прозвучал на лекции физика Джона Уилера: его предложил кто-то из слушателей). Одна такая чёрная дыра находится в центре нашей Галактики!

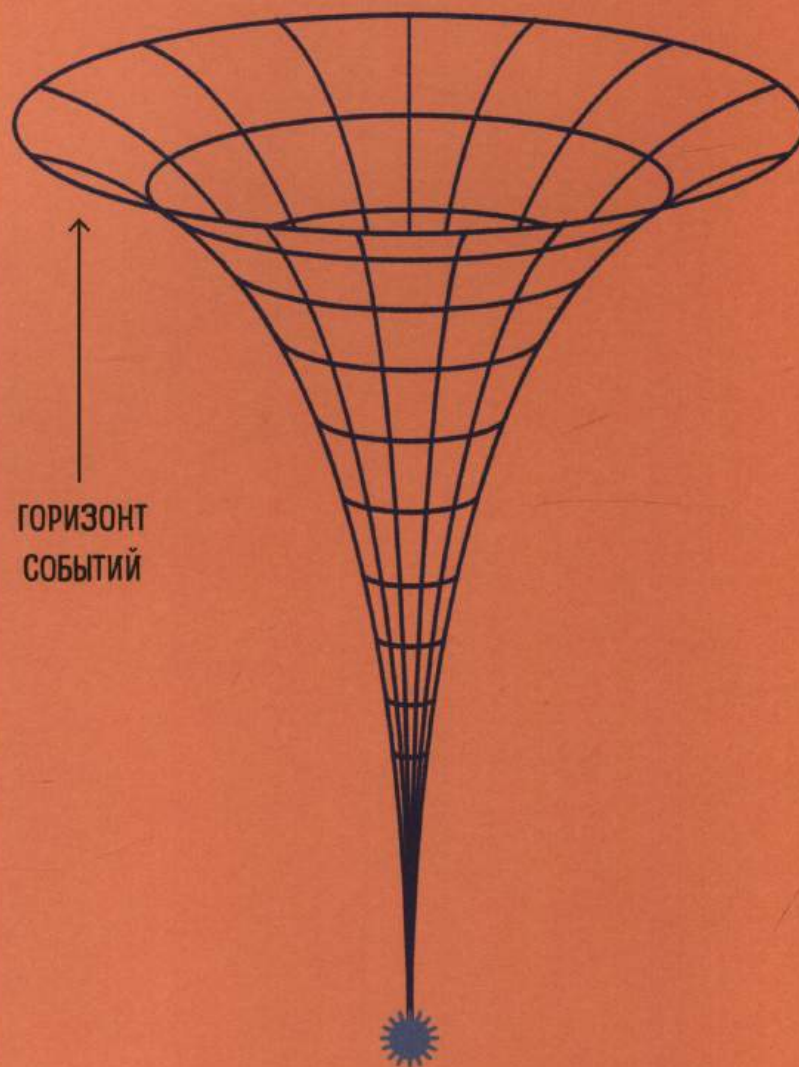
УДАЧНОЕ ФОТО

Раньше считалось, что сделать фотографию чёрной дыры невозможно, поскольку ни свет, ни какая-либо другая форма излучения не может преодолеть её гравитацию. Но в апреле 2019 года астрономы продемонстрировали первую в мире фотографию чёрной дыры.

Сверхмассивная чёрная дыра M87 отстоит от Земли на 53,5 миллиона световых лет. Учёные совместили множество изображений с телескопов, расположенных по всему миру, чтобы построить картину воздействия M87 на окружающее пространство.

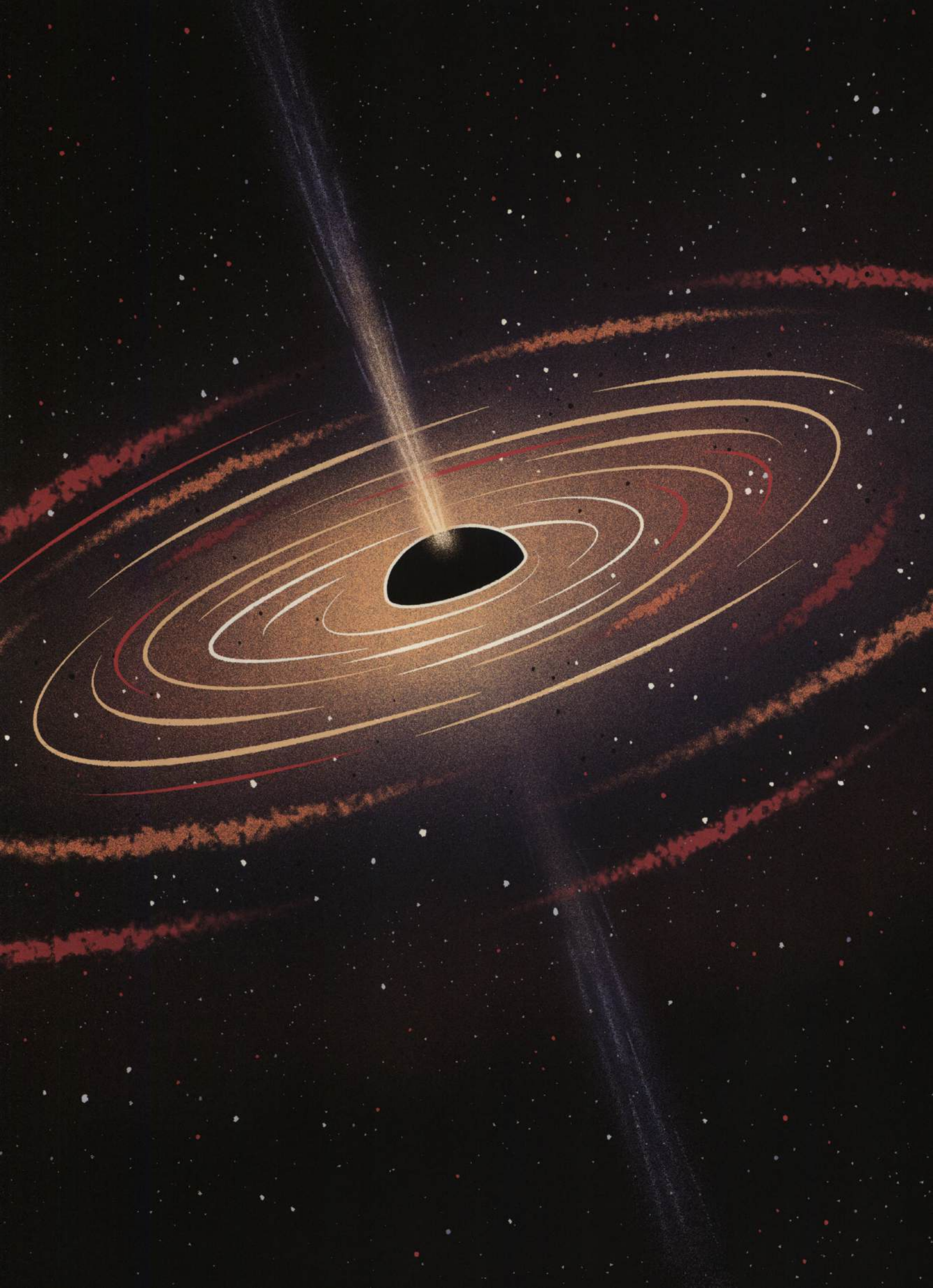
Ближайшие звёзды чёрная дыра разрывает на части и поглощает. При этом возникает спираль из сверхгорячей материи, напоминающая воду, которая утекает в сливное отверстие ванны.

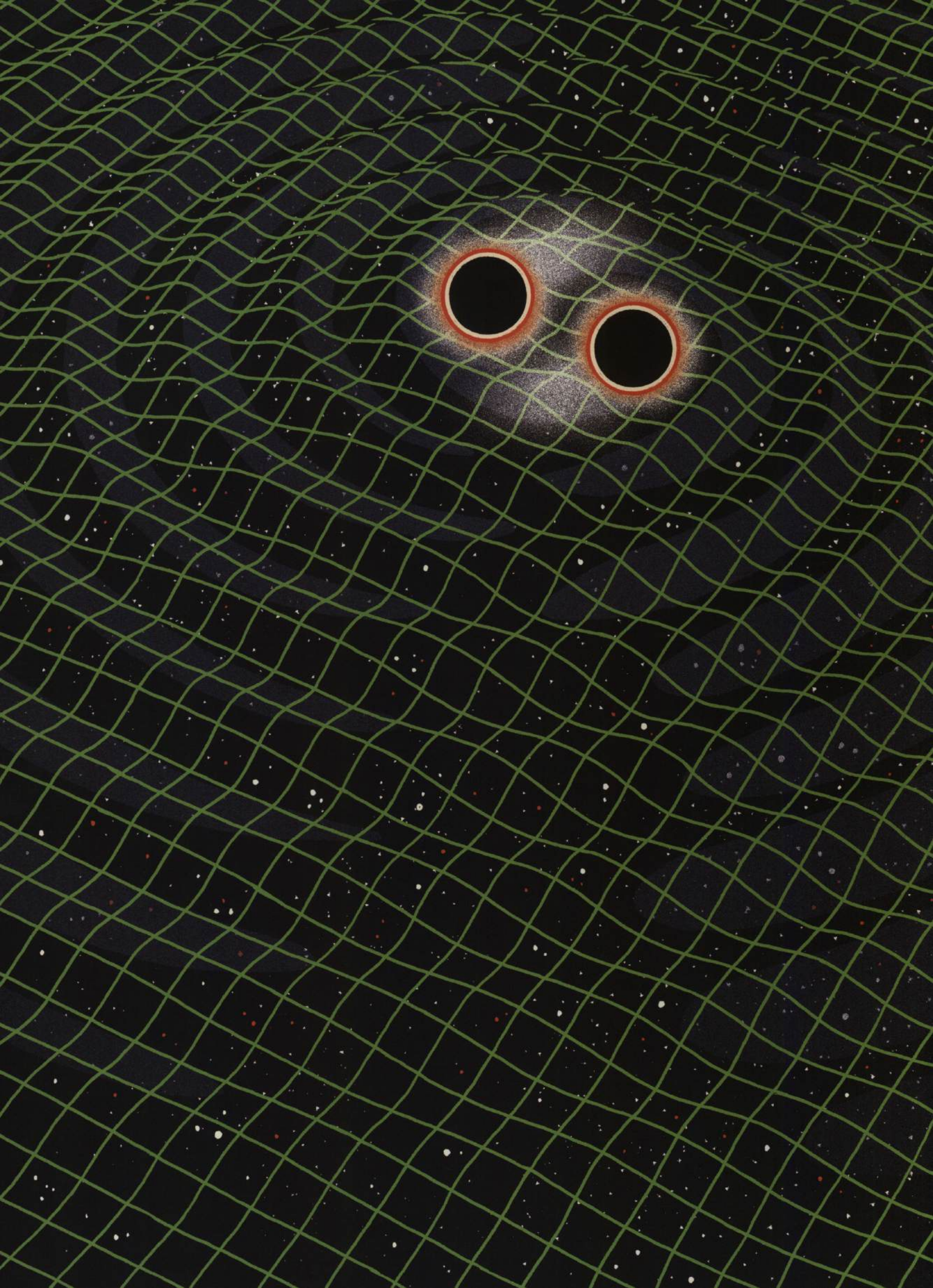
Астрономы могут наблюдать эту спираль — до определённого предела, за которым материя, засасываемая в чёрную дыру, перестаёт быть видимой. Этот предел называют горизонтом событий.



СИНГУЛЯРНОСТЬ

В точке, являющейся центром чёрной дыры, материя имеет бесконечную плотность. Эта точка известна под названием сингулярности.





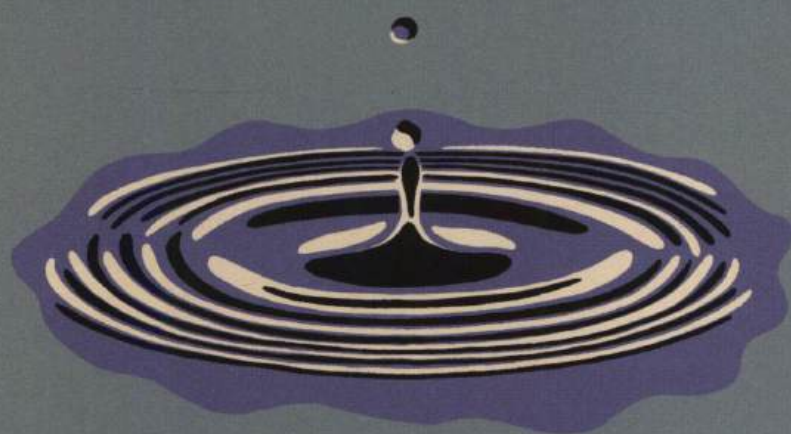
ЧТО НАМ ИЗВЕСТНО СЕГОДНЯ: ЧАСТЬ II

ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ

Эйнштейн открыл, что гравитацию вызывают искажения, которые объекты с большой массой (планеты, звёзды) создают в пространстве-времени (помните, как тяжёлый шар на батуте давит на его полотно, и к шару скатываются — «притягиваются» — шары поменьше?).

Но что происходит с пространством-временем, когда планета или звезда движутся?

В 1905 году великий французский математик Анри Пуанкаре предположил, что массивный ускоряющийся объект создаст вокруг себя в пространстве-времени так называемые гравитационные волны. Они похожи на круги на воде от брошенного камня или на волны, расходящиеся от бортов лодки, когда вы плывёте по реке.



Теория Эйнштейна позволила развить гипотезу Пуанкаре: массивный объект, движущийся с ускорением, создаёт волны гравитационного излучения или энергии, распространяющиеся со скоростью света. Чем больше масса движущегося объекта, тем сильнее его воздействие на пространство-время и тем больше волны, которые он порождает.

ПРОБЛЕМА

Много лет учёные пытались найти способ обнаружить гравитационные волны, проходящие сквозь Землю, но без особого успеха: эффект от гравитационных волн очень мал, его крайне трудно измерить.

Но в 1974 году физики Рассел Халс и Джозеф Тейлор-младший сделали важное открытие, которое девятнадцатью годами позже, в 1993 году, принесло им Нобелевскую премию по физике. Они обнаружили так называемый двойной пульсар — звёздную систему очень редкого типа, состоящую из двух небольших звёзд, вращающихся друг вокруг друга по близко расположенным орбитам.

Эти звёзды излучают энергию импульсами, которые можно зафиксировать и измерить с Земли, и, кроме того, они обладают сильной гравитацией. Обнаружив двойной пульсар, учёные смогли подтвердить, что предсказанные Пуанкаре, а затем Эйнштейном гравитационные волны действительно существуют.

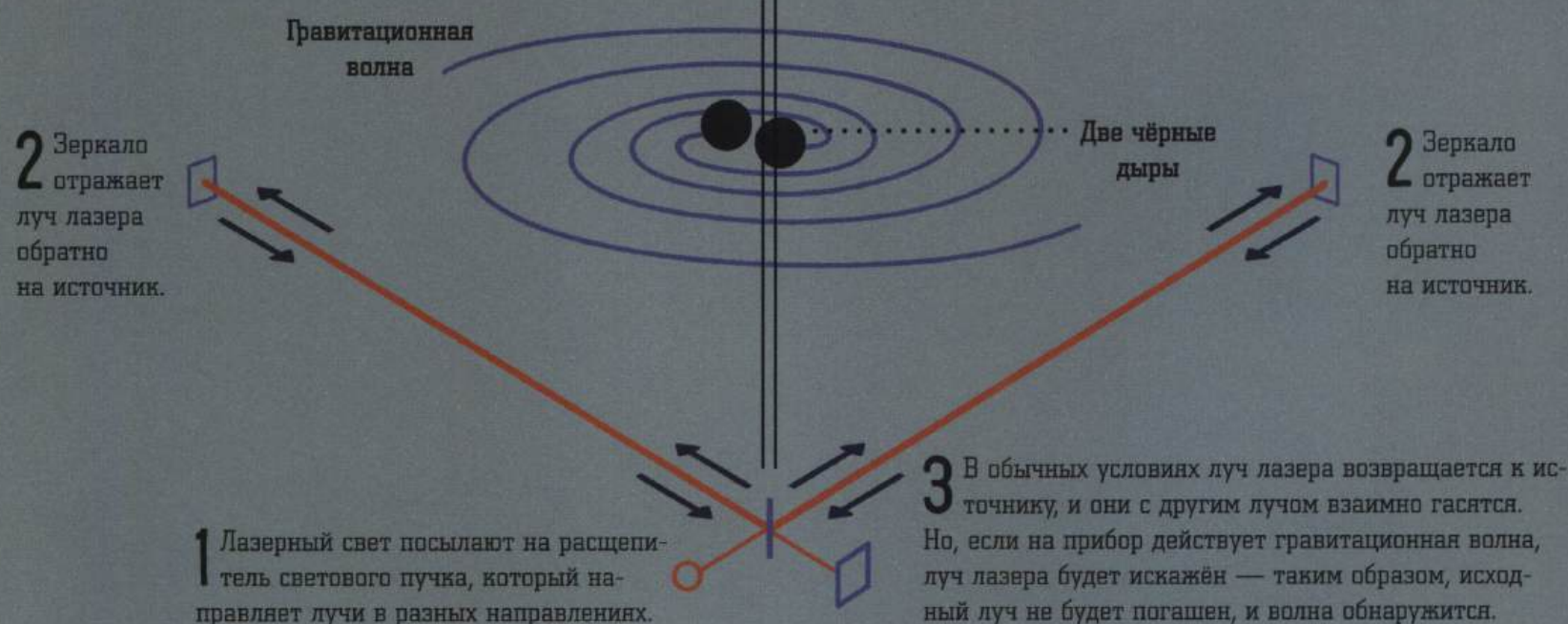
ПОЙМАТЬ ВОЛНУ

Благодаря двойному пульсару учёные убедились в реальности гравитационных волн, но измерить их учёные смогли лишь недавно.

В 2015 году астрономы двух американских обсерваторий смогли уловить гравитационные волны, порождённые слиянием двух чёрных дыр.

Лазерно-интерферометрические гравитационно-волновые обсерватории (ЛИОГВ) используют лазерные лучи, которые отражаются от зеркал, расположенных в четырёх километрах друг от друга. Когда гравитационная волна проходит через Землю, она немного смещает зеркала, меняя, таким образом, расстояние между ними, и это изменение можно измерить.

Обе обсерватории с гравитационными детекторами отстоят друг от друга на 3000 километров, благодаря чему физики могут определить, откуда приходят гравитационные волны.



ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ — ПЛАНЫ НА БУДУЩЕЕ

Теория относительности Эйнштейна объясняет действие силы гравитации и гравитационных полей, но гравитация — это только одна из четырёх сил, действующих во Вселенной. Следующим шагом, как считал Эйнштейн, будет включение в его теорию других сил и полей. Должна быть создана единая теория поля, объясняющая всё во Вселенной.

Начиная с 1923 года Эйнштейн работал над единой теорией поля, которая объединила бы гравитацию с электромагнитными полями. Его усилия не увенчались успехом, но он наметил путь для исследований следующим поколениям учёных.

ПОЛЯ И СИЛЫ

Нам известны четыре силы, действующие во Вселенной (или, говоря иначе, четыре типа взаимодействия). У каждой из них своя частица.

СИЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Эта сила (или тип взаимодействия) удерживает от распада атомные ядра. Протоны и нейтроны, входящие в состав ядра, состоят из кварков. Силу между кварками переносят глюоны (их восемь типов).

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СИЛА

Эта сила определяется взаимодействием электрически заряженных частиц в электрических и магнитных полях. Эйнштейн ввёл понятие светового кванта, позже названного фотоном, — особой частицы, которая переносит энергию маленькими порциями.

ТЕОРИЯ ВСЕГО

Современная наука решает важную задачу: как соединить теорию относительности, которая описывает гравитацию и взаимодействие больших объектов, обладающих массой и энергией (например, звёзд, планет и чёрных дыр), с квантовой механикой, объясняющей взаимодействие малых объектов на атомном и субатомном уровнях.

Решение этой задачи связано, в частности, с поиском новых видов фундаментальных частиц. На больших ускорителях (например, на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе — Европейском центре ядерных исследований) частицы ускоряют почти до скорости света и сталкивают их друг с другом, чтобы таким образом открыть новые виды сверхтяжёлых частиц. Физики, по сути, создают условия, подобные тем, в которых развивалась Вселенная после Большого взрыва.

Теория, которая соединила бы теорию относительности Эйнштейна с квантовой механикой — то есть большое и малое, — помогла бы объяснить, что происходило в самом начале существования Вселенной, когда материя, которая сейчас распределена по всему космическому пространству, была сжата в невероятно плотную точку — сингулярность.

Учёным пока не удалось создать общую теорию поля (как надеялся Эйнштейн), но они продолжают работу в новых направлениях, включая, например, теорию струн.

ГРАВИТАЦИЯ

Эта сила действует на больших расстояниях, распространяется по всей Вселенной и оказывает влияние на всё. Частица-носитель гравитации до сих пор не обнаружена, но учёные уже придумали ей название — гравитон.

Несмотря на то что действие гравитации мы ощущаем на себе каждый день (она удерживает нас на поверхности Земли, а Землю на орбите вокруг Солнца), на самом деле она слабейшая из четырёх сил.

СЛАБОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ

Эта сила действует на небольшом расстоянии и встречается в некоторых формах излучения. Она покрывает расстояние меньшее, чем один протон! Частицы, которые переносят эту силу, называются W- и Z-бозонами.

БОЗОН ХИГГСА

Существование бозонов — частиц, которые переносят физические силы, — ещё в 1964 году предсказал британский физик Питер Хиггс. Но обнаружить их экспериментально смогли лишь в 2012 году на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе. Эта частица, прозванная «частицей Бога», придаёт массу элементарным частицам, например электронам и протонам.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

$E=mc^2$ — энергия равна массе, умноженной на квадрат скорости света (с. 34).

π («Пи») — математическая постоянная величина, равная отношению длины окружности к её диаметру. Число π — исключительно длинное число, приблизительно равное 3,14 (с. 38).

Атом — наименьшая часть химического элемента, носитель всех его свойств. Из атомов сложено всё вещество во Вселенной (с. 19).

Атомное ядро — центральная часть атома, в которой сосредоточена его основная масса. Атомное ядро имеет положительный заряд (с. 35).

Атомные часы — исключительно точные часы, измеряющие время по колебаниям, которые порождаются атомами или молекулами (с. 27).

Вселенная — всё, что существует в пространстве (с. 6).

Вязкий — так говорят о густой, тягучей жидкости (с. 19).

Газ — состояние вещества, в котором оно свободно перемещается, принимает любую форму и заполняет любой предоставленный ему объём (с. 19).

Геометрия — раздел математики, изучающий форму, размер и взаимное расположение предметов (в переводе с древнегреческого языка — «измерение земли») (с. 4).

- Евклидова геометрия — геометрическая теория, основанная на системе аксиом, собранных впервые в книге древнегреческого математика Евклида (III век до нашей эры) (с. 42).

Глобальная система геопозиционирования (GPS) — система, использующая сигналы со спутников для определения местоположения объекта (с. 53).

Глюон — элементарная частица, переносящая сильное взаимодействие между кварками (с. 60).

Горизонт событий — условная граница чёрной дыры, сфера, пределы которой не может покинуть ничто (включая свет и другие виды излучения) (с. 56).

Гравитационная волна — возмущение пространства-времени, вызванное ускоряющимся объектом (с. 59).

Гравитационная сингулярность — воображаемый центр чёрной дыры, где гравитация становится бесконечной (с. 56).

Гравитационное излучение — последовательность гравитационных волн (с. 59).

Деление атомного ядра — процесс, в результате которого тяжёлое ядро расщепляется с выделением большого количества энергии (с. 35).

Джоуль — единица измерения энергии (с. 34).

Диаметр — прямая линия, соединяющая две точки на окружности и проходящая через её центр (с. 38).

Длина окружности — длина замкнутой плоской кривой, ограничивающей круг (с. 38).

Жидкость, жидкое вещество — может течь, литься и менять свою форму, но обладает при этом неизменным объёмом (с. 20).

Замедление времени — разница во времени, которую показывают

двое часов из-за того, что они имеют разную скорость относительно друг друга, или из-за разницы в гравитационном потенциале между местоположением этих часов (с. 27).

Излучение — передача энергии в виде частиц или волн через пространство или материальную среду (с. 18).

- Вынужденное излучение — процесс, с помощью которого высвобождается атомная энергия (с. 54).

Инерция — сопротивление, оказываемое чем-либо текущему состоянию движения (с. 36).

Квантовая механика — раздел физики, изучающий материю и энергию на атомном и субатомном уровнях (с. 61).

Кварк — элементарная частица, входящая в состав протонов, нейтронов и некоторых других составных частиц, называемых адронами (с. 60).

Классическая механика — раздел физики, который описывает движение материальных тел и взаимодействие между ними (с. 7).

Коллайдер — ускоритель, в котором разгоняются, направляются навстречу друг другу и сталкиваются два пучка частиц. Коллайдер предназначен для изучения свойств элементарных частиц и их взаимодействия друг с другом. С помощью коллайдера был обнаружен бозон Хиггса (с. 61).

Компас — прибор для определения сторон света. Его намагниченная стрелка всегда указывает на север (с. 4).

Координаты — набор чисел, с помощью которого задают положение точки в пространстве (с. 10).

Корпускула (устар.) — мельчайшая частица материи или эфира. Ей противопоставлена волна (с. 12).

Лазер — устройство, испускающее длинный и тонкий луч света (с. 54).

Литий-ионный аккумулятор — самый популярный тип электрического аккумулятора (с. 27).

Магнитное поле — поле сил притяжения или отталкивания вокруг тела с магнитными свойствами (с. 12).

Масса — количество вещества в объекте. Масса — постоянная величина, остаётся одинаковой в любых условиях (с. 6).

Мировая линия — линия в четырёхмерном пространстве-времени, показывающая траекторию объекта (с. 33).

Молекула — два или больше атомов, соединённых друг с другом (с. 19).

Мысленный эксперимент — научный опыт, производимый в уме с помощью воображения (с. 5).

Нейтрон — субатомная частица, не имеющая электрического заряда (с. 52).

Нобелевская премия — международная премия, присуждаемая за выдающиеся достижения в науке (физике, химии, медицине, экономике), литературе и борьбе за мир (с. 50).

Оптическое волокно — тонкие нити из стекла или пластика, используемые в кабелях для высокоскоростной передачи информации (с. 54).

Патент — документ, подтверждающий авторство изобретения, а также гарантирующий право быть единственным человеком или компанией, производящими или продающими что-либо (с. 16).

Пространство-время — физическая четырёхмерная модель Вселенной, включающая в себя как пространство, так и время (с. 22).

Протон — элементарная частица, обладающая положительным зарядом (с. 61).

Пульсар — быстро вращающаяся компактная звезда, испускающая периодические всплески радиоизлучения («пульсирующая» звезда) (с. 59).

- **Двойной пульсар** — пульсар, у которого есть сопровождающий его объект (чаще всего звезда). Оба они вращаются по близко расположенным орбитам (с. 59).

Свет — электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом (с. 12).

Световая волна — электромагнитная волна, переносящая кванты света (фотоны) (с. 41).

Сила — воздействие на объект (с. 6).

Скорость света — приблизительно 299 792 км/с (с. 22).

Солнечное затмение — астрономическое явление, заключающееся в том, что Луна полностью или частично закрывает собой солнечный диск (с. 41).

Солнце — звезда, находящаяся в центре нашей планетарной системы (с. 41).

Сопротивление воздуха — сила, создаваемая воздухом и препятствующая движению тела в нём (с. 6).

Спутник — объект, вращающийся вокруг планеты (например, Земли). Этим словом называют как природные, так и рукотворные объекты. К числу рукотворных спутников относятся в том числе спутники связи (с. 53).

Стандартное (поясное) время — единое для региона время, обычно определяемое по географической долготе (с. 9).

Субатомные частицы — частицы, чей размер гораздо меньше, чем размер атома (например, протон, нейтрон или бозон Хиггса) (с. 52).

Теория — идея или набор идей, объясняющих что-либо (с. 49).

Траектория — путь движущегося через пространство объекта (с. 33).

Узел — единица измерения скорости в навигации, равная одной морской миле (1852 км) в час (с. 15).

Ультрафиолетовые лучи — световые волны с меньшей длиной волны, чем у видимого света (с. 6).

Фотон — фундаментальная частица, квант света. Фотон не имеет массы (с. 18).

Фотоэлемент — устройство, способное генерировать электрический ток под действием света (с. 55).

Частота — количество волн, проходящих через точку за секунду или другую единицу времени (с. 41).

Чёрная дыра — область космического пространства, где гравитация настолько сильна, что ничто (даже объект, движущийся со скоростью света) не может её покинуть (с. 56).

Экватор — воображаемая линия, проведённая по поверхности земного шара на одинаковом расстоянии от Северного и Южного полюсов (с. 13).

Электрический заряд — физическая величина, которая определяет способность тел быть источником электромагнитных полей. Заряд бывает положительным или отрицательным, что связано с соотношением электронов и протонов в объекте (с. 36).

Электрический ток — движение частиц-носителей электрического заряда по проводнику или цепи (с. 36).

Электрическое поле — это физическое поле, которое окружает электрические заряды и действует на все другие заряды в этом поле (притягивает или отталкивает их) (с. 37).

Электричество — форма энергии, создаваемая движением электронов (с. 13).

Электродинамика — раздел физики, изучающий взаимодействие электрических токов с магнитами (с. 21).

Электромагнетизм — магнетизм, возникающий благодаря электрическому току (с. 36).

Электромагнитная волна — волна, созданная одновременными колебаниями электрического и магнитного полей (с. 13).

Электромагнитная сила — взаимодействие электрически заряженных частиц при одновременном присутствии электрических и магнитных полей (с. 60).

Электрон — субатомная частица, входящая в состав атома и обладающая отрицательным зарядом (с. 55).

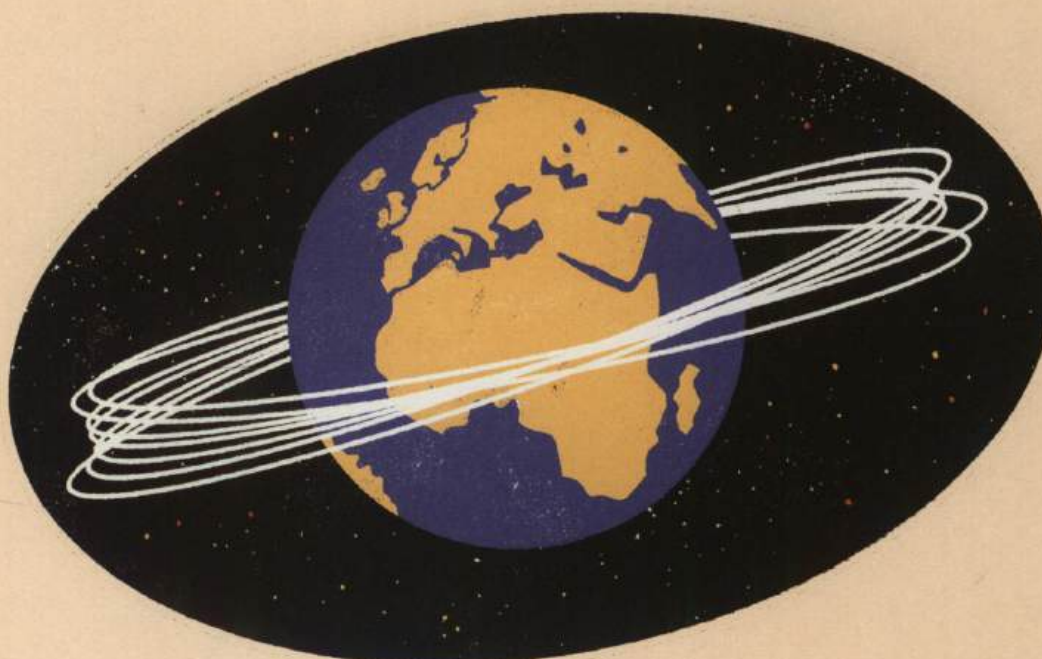
Эфир — гипотетическое невидимое вещество, заполняющее всё пустое пространство во Вселенной. Концепция эфира бытовала в физике до начала XX века (с. 22).

УДК 087.5
ББК 22.3г
УЗ6

Carl Wilkinson
ALBERT EINSTEIN'S THEORY OF RELATIVITY

Уилкинсон, Карл
УЗ6 Альберт Эйнштейн и его теория относительности [Текст] / Карл
Уилкинсон ; ил. Джеймса Уэстона Льюиса. — М. : Лабиринт Пресс,
2022. — 62, [2] с. : ил. — (Идеи, которые изменили мир).
ISBN 978-5-9287-3425-1

УДК 087.5
ББК 22.3г



Научно-популярное издание
Для детей 9–12 лет

Идеи, которые изменили мир

Уилкинсон Карл

Альберт Эйнштейн и его ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Иллюстрации Джеймса Уэстона Льюиса

Перевод с английского Константина Вантуха

В книге цитируются работы Галилео Галилея, Исаака Ньютона, Альберта Эйнштейна
в переводах А. И. Базя, А. И. Долгова, А. Н. Крылова, Л. Д. Пузикова, А. А. Сазыкина, В. Я. Френкеля, Б. Е. Явлова

Дизайн *Николы Прайс*
Редактор *Галина Урбанович*
Верстка *Анны Нестюк*
Технический директор *Лариса Шабеева*
Корректор *Ирина Романова*

Подписано в печать 11.05.2022. Дата изготовления 11.07.2022.
Формат 70х108^{1/8}. Бумага офсетная. Гарнитуры Rainier, Coliseum.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,6. Тираж 5000 экз.

ООО «Издательство Лабиринт Пресс»
115419, Москва, 2-й Рошинский пр., д. 8, стр. 4
Тел.: (495) 723-7295, 231-4679, 780-0098
E-mail: redactor@labirint-press.ru
<http://www.labirint-press.ru>

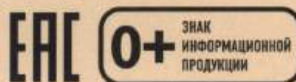
Изготовитель: Shaoguan Fortune Creative Industries Company Limited
Адрес: Muxi Liu Lu, Muxi Industrial Zone, Shaoguan City, Guangdong Province, China

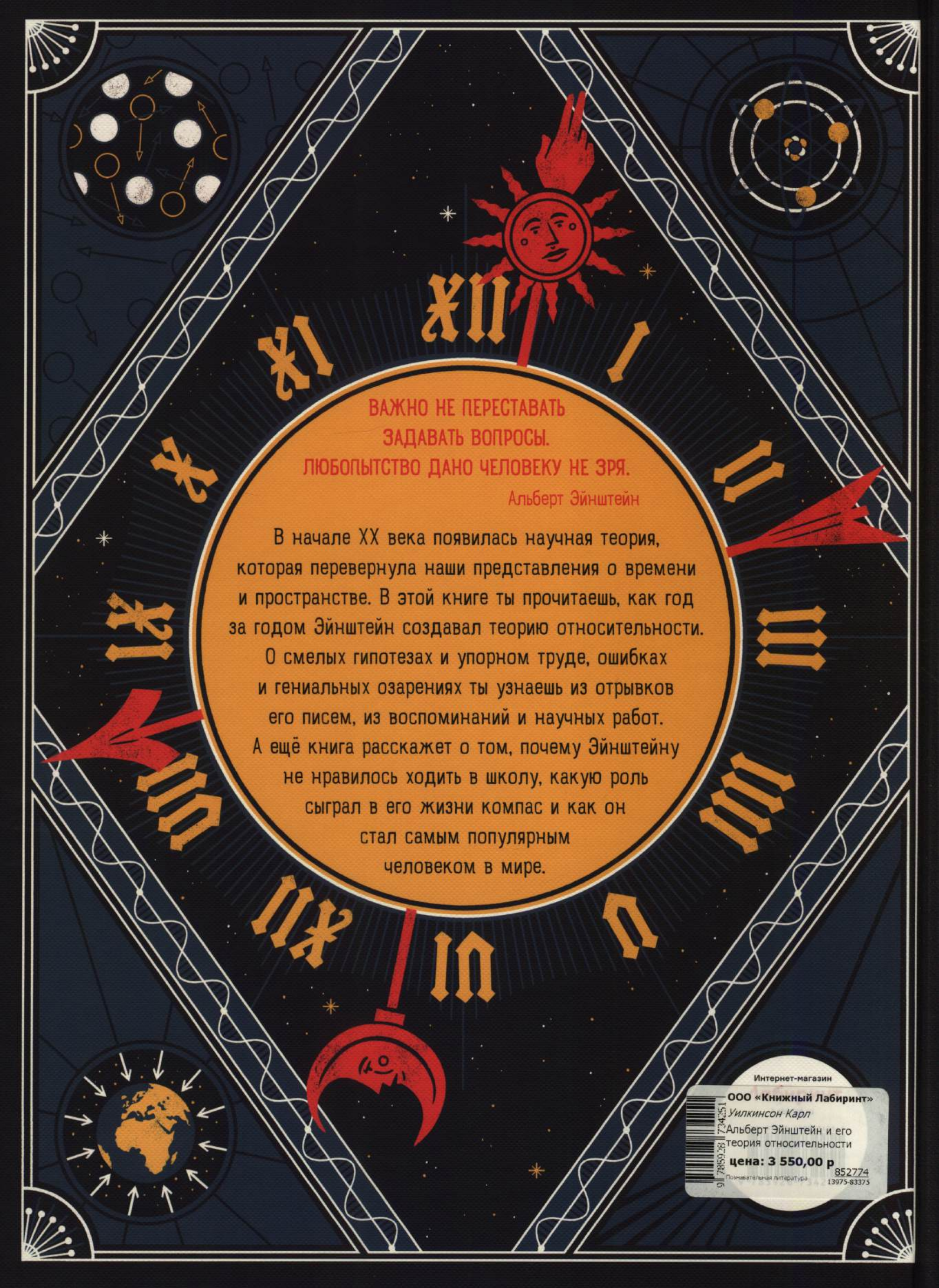
Отпечатано в Китае

Срок годности не ограничен

Words That Changed the World: Albert Einstein's
The Theory of Relativity © 2020 Ronshin Group
Created by the Old Dungate Press Ltd
Dunsfold, Surrey, U.K.
Text by Carl Wilkinson
Illustrations © James Weston Lewis 2020
Designed by Nicola Price
Edited by Jenny Broom
All rights reserved.
© Издание на русском языке: ООО «Издательство
Лабиринт Пресс», 2022

ISBN 978-5-9287-3425-1





ВАЖНО НЕ ПЕРЕСТАВАТЬ
ЗАДАВАТЬ ВОПРОСЫ.
ЛЮБОПЫТСТВО ДАНО ЧЕЛОВЕКУ НЕ ЗРЯ.

Альберт Эйнштейн

В начале XX века появилась научная теория, которая перевернула наши представления о времени и пространстве. В этой книге ты прочитаешь, как год за годом Эйнштейн создавал теорию относительности. О смелых гипотезах и упорном труде, ошибках и гениальных озарениях ты узнаешь из отрывков его писем, из воспоминаний и научных работ. А ещё книга расскажет о том, почему Эйнштейну не нравилось ходить в школу, какую роль сыграл в его жизни компас и как он стал самым популярным человеком в мире.

Интернет-магазин

ООО «Книжный Лабиринт»

Уилкинсон Карл

Альберт Эйнштейн и его
теория относительности

цена: 3 550,00 р

Познавательная литература

852774

13975-83375