

1,00000000000000000858

Болт и относительность

В тот год под рождественской елкой посреди обычной футбольной символики и атрибутики лежало нечто новое. Это был словарь английского языка Collins — один из тех огромных классических словарей, которые при необходимости можно использовать в качестве баррикады. Я не знаю, почему мои родители сочли нужным купить десятилетнему сыну словарь: в то время я не особо интересовался словами. Тогда у меня в жизни были две страсти: футбольный клуб «Ливерпуль» и математика. Если мои родители полагали, что этот подарок расширит мой кругозор, то они жестоко ошибались. Я поразмышлял о своей новой игрушке и решил, что смогу использовать ее хотя бы для поиска больших чисел. Сначала я искал «биллион», затем «триллион», а вскоре обнаружил «квадриллион». Игра продолжалась до тех пор, пока я не наткнулся на поистине великолепный «центиллион». Шестьсот нулей! Конечно, в старом варианте с длинной шкалой наименования больших чисел; сейчас мы перешли на короткую шкалу, и центиллион имеет менее вдохновляющие триста три нуля, а миллиард (он же биллион) — девять нулей, а не двенадцать.

Однако на этом все закончилось. В моем словаре не было ни гуголплекса, ни числа Грэма, ни даже TREE(3). Мне бы понравились эти колоссы. Подобные фантастические числа могут привести вас на грань понимания, на передний край физики и раскрыть фундаментальные истины о природе нашей реальности. Но наше путешествие начинается с другого большого числа, которого тоже не было в моем словаре: 1,00000000000000000858.

Полагаю, вы разочарованы. Я обещал вам покататься на левиафанах, а это число вовсе не кажется большим. Даже народ пирахан

из тропических лесов Амазонии может назвать что-то большее, хотя их система числительных включает только *hóí* (один), *hoí* (два) и *báagiso* (много)*. Еще хуже, что это число даже не такое красивое и элегантное, как π или $\sqrt{2}$. Оно кажется замечательно непримечательным во всех смыслах.

Все это верно до тех пор, пока мы не начинаем думать о природе пространства и времени и об экстремальных случаях взаимодействия человека с ними. Я выбрал именно это число, потому что оно стало мировым рекордом, отражающим пределы нашей физической способности связываться со временем.

16 августа 2009 года ямайскому спринтеру Усэйну Болту удалось замедлить свои биологические часы в 1,0000000000000000858 раза. Ни один человек никогда не замедлял время настолько, по крайней мере без механической помощи. Возможно, вы знаете это событие под другим названием. В тот день на чемпионате мира по легкой атлетике в Берлине Болт побил мировой рекорд в беге на 100 метров, разогнавшись на отрезке между 60 и 80 метрами до скорости 12,72 метра в секунду. На трибунах сидели родители бегуна Уэлсли и Дженнифер, и в каждую секунду, прожитую их сыном на этом отрезке, они проживали чуть больше: если точно, то 1,0000000000000000858 секунды.

Чтобы понять, как Болту удалось замедлить время, нам нужно ускорить его до скорости света. Нам надо спросить, что произошло бы, если бы спринтер смог догнать свет. При желании вы можете назвать это мысленным экспериментом, но не забывайте, что Болт сумел побить три мировых рекорда на Олимпийских играх в Пекине, питаясь куриными наггетсами. Вообразите, чего он мог бы достичь при правильном рационе.

Чтобы иметь хоть какую-то надежду догнать свет, необходимо предположить, что он движется с конечной скоростью. Это далеко не очевидно. Когда я сказал своей дочери, что свет от ее книги достиг ее

* Слова *hóí* и *hoí* отличаются только тоном. Эксперименты XXI века показывают, что числительных в языке пирахан нет вообще: указанные в тексте три слова означают нечто вроде «маленькое количество», «количество побольше» и «количество еще больше», не имея конкретных числовых значений. *Прим. пер.*

глаз не мгновенно, она сразу же проявила скептицизм и настояла на проведении эксперимента, чтобы выяснить, верно ли это на самом деле. Обычно всякий раз, когда я чересчур близко подхожу к экспериментальной физике, у меня идет кровь из носа, но у моей дочери, похоже, обнаружилось больше практических умений. Для определения скорости света она предложила такой метод: выключите свет в спальне, затем снова включите его и посчитайте, сколько времени потребуется, чтобы свет дошел до вас. Это ровно тот же эксперимент, который Галилео Галилей и его помощник провели с закрывающимися фонарями 400 лет назад. Как и моя дочь, физик пришел к выводу, что свет распространяется если и не мгновенно, то необычайно быстро. Скорость света велика, но конечна.

К середине XIX века некоторые физики — например, француз с прекрасным именем Ипполит Физо — взялись определить достаточно точное (и конечное) значение скорости света. Однако чтобы правильно понять, что значит догнать свет, нам нужно сначала сосредоточиться на замечательной работе шотландского физика Джеймса Клерка Максвелла. Она также проиллюстрирует прекрасную синергию между математикой и физикой.

К тому моменту, когда Максвелл изучал поведение электричества и магнетизма, у ученых уже имелись намеки, что они могут оказаться двумя сторонами одной медали. Например, Майкл Фарадей, один из самых влиятельных ученых Англии, несмотря на отсутствие у него формального образования, ранее открыл электромагнитную индукцию, показав, что изменение магнитного поля порождает электрический ток. Французский физик Андре-Мари Ампер также установил связь между этими двумя явлениями. Максвелл взял эти идеи и соответствующие уравнения и попытался придать им математическую строгость. Но он заметил некоторые неувязки: для переменных полей и токов закон Ампера оказывался неверным. Максвелл провел аналогию с уравнениями, описывающими течение воды, и определил поправки для предложений Ампера и Фарадея. С помощью математических рассуждений он нашел недостающие части этой электромагнитной головоломки, и в результате возникла картина, обладающая беспрецедентной элегантностью и красотой. Именно эта стратегия, впервые предложенная Максвеллом, раздвигает границы физики в XXI веке.

Создав свою математически непротиворечивую теорию, объединяющую электричество и магнетизм, Максвелл заметил нечто волшебное. Его новые уравнения допускали волновое решение — электромагнитную волну, где электрическое поле периодически меняется в одном направлении, а магнитное — в другом. Чтобы понять, что обнаружил Максвелл, представьте, что вы плаваете с акалангом и к вам приближаются две морские змеи. Они двигаются по одной прямой, но электрическая извивается в направлении вверх-вниз, а магнитная — влево-вправо. Что еще хуже, они мчатся к вам со скоростью 310 740 000 метров в секунду. Возможно, последняя часть аналогии ужасает сильнее всего, но она — как раз самая замечательная часть открытия Максвелла. Дело в том, что величина 310 740 000 метров в секунду была скоростью, вычисленной Максвеллом для своей электромагнитной волны: она просто выскочила из его уравнений, как математический чертик из табакерки. Любопытно, что эта величина оказалась также очень близкой к оценкам скорости света, установленным Физо и другими учеными. Вспомните, что, согласно убеждениям того времени, электричество и магнетизм не имели ничего общего со светом; однако оказалось, что они, по-видимому, представляют собой волны, бегущие с одинаковой скоростью. Современные измерения скорости света в вакууме дают значение 299 792 458 метров в секунду, но и параметры уравнений Максвелла теперь известны с улучшенной точностью, так что это чудесное совпадение сохранилось. Благодаря ему Максвелл понял, что свет и электромагнетизм должны быть явлениями одной природы: удивительная связь между двумя, казалось бы, различными свойствами физического мира была обнаружена математическими методами.

Это еще не все. Волны Максвелла включали не только свет. В зависимости от частоты их колебаний (иными словами, от скорости изгибания змей из стороны в сторону) эти волновые решения описывали радиоволны, рентгеновские и гамма-лучи, и, какими бы разными ни были их частоты, скорость перемещения волн всегда оказывалась одинаковой. В 1887 году немецкий физик Генрих Герц измерил скорость распространения радиоволн и установил, что она равна скорости света. Когда ученого спросили о следствиях его открытия, Герц скромно ответил: «Оно совершенно бесполезно. Это просто эксперимент,

доказывающий, что маэстро Максвелл был прав». Конечно, всякий раз, когда мы настраиваем радиостанцию на нужную частоту, мы вспоминаем о реальном влиянии открытия Герца. Но даже если он преуменьшал собственную значимость, Герц был прав, называя Максвелла маэстро. В конце концов, шотландец оказался дирижером самой изящной математической симфонии в истории физики.

До того как Альберт Эйнштейн произвел революцию в нашем понимании пространства и времени, ученые в основном полагали, что световым волнам требуется определенная среда для распространения — точно так же, как океанским волнам необходимо двигаться через какую-то воду. Такая гипотетическая среда для света была известна как светоносный эфир. Предположим на мгновение, что эфир реален. Если бы Усэйн Болт догнал свет, ему пришлось бы мчаться через эфир со скоростью 299 792 458 метров в секунду. Если спринтер наберет такую скорость, что он увидит, двигаясь рядом с лучом света? Свет больше не удаляется от него, поэтому будет выглядеть как электромагнитная волна, колеблющаяся вверх-вниз, влево-вправо, но на самом деле никуда не перемещающаяся. (Представьте морских змей, извивающихся из стороны в сторону, но в итоге остающихся на одном и том же месте в океане.) Однако не существует явного способа приспособить законы Максвелла к волне такого рода, и это заставляет предположить, что законы физики для такой «турбонаддувной» версии ямайского спринтера должны кардинально отличаться.

Это тревожит. Когда Эйнштейн пришел к тем же выводам, он понял, что в самой идее догнать свет есть что-то неправильное. Теория Максвелла была слишком красива, чтобы отказываться от нее только потому, что кто-то быстро двигается. Эйнштейну также требовалось разобраться со странными результатами эксперимента, проведенного весной 1887 года в Кливленде. Два американских физика, Альберт Майкельсон и Эдвард Морли, пытались найти скорость движения Земли относительно эфира, используя некое хитроумное расположение зеркал, но ответ всегда оказывался нулевым. Такой результат означал, что Земля — в отличие от почти всех других планет в Солнечной системе и за ее пределами — почему-то движется вместе с этим заполняющим пространство эфиром, с точно такой же скоростью

и в точности в том же направлении. Как мы увидим далее в этой книге, подобных совпадений без веской причины не бывает. Поэтому просто-напросто эфира не существует, а маэстро Максвелл всегда прав.

Эйнштейн предположил, что законы Максвелла (как и любые другие физические законы) никогда не изменятся, как бы быстро вы ни двигались. Если вас запереть на корабле в каюте без окон, вам не удастся провести эксперимент, который определит вашу абсолютную скорость, потому что таковой не существует. Ускорение — совсем другая история, мы к нему еще вернемся, но, пока капитан корабля плывет с постоянной скоростью относительно моря (будь то десять узлов, двадцать узлов или скорость, близкая к скорости света), вы и ваши коллеги-экспериментаторы в каюте будете находиться в блаженном неведении. Если вернуться к Усэйну Болту, то мы знаем, что его погоня за светом окажется тщетной. Он никогда не догонит луч, потому что законы Максвелла неизменны. Как бы быстро он ни бежал, свет всегда будет удаляться от него со скоростью 299 792 458 метров в секунду.

Все это противоречит нашей интуиции. Если гепард бежит по равнине со скоростью 70 миль (113 км) в час, а Болт преследует его со скоростью 30 миль (48 км) в час, то обычная логика подсказывает, что гепард каждый час будет увеличивать свой отрыв от спринтера на 40 миль (65 км) — просто потому, что его относительная скорость равна $70 - 30 = 40$ миль в час. Но когда мы говорим о луче света,двигающемся по равнине со скоростью 299 792 458 метров в секунду, то неважно, как быстро бежит Болт, — луч света все равно будет двигаться относительно него со скоростью 299 792 458 метров в секунду. Свет всегда будет двигаться со скоростью 299 792 458 метров в секунду [1] — относительно африканской равнины, относительно Усэйна Болта, относительно стада паникующих антилоп-импал. Это действительно не имеет значения. Мы можем подвести этот итог в одном твите:

Скорость света — это скорость света.

Эйнштейну бы это понравилось. Он всегда говорил, что его идеи следовало бы именовать теорией инвариантности, сосредоточив внимание на их наиболее важных аспектах: постоянстве скорости света и инвариантности законов физики. Ироничное название «теория

относительности» придумал немецкий физик Альфред Бухерер, критиковавший работу Эйнштейна. Мы называем ее специальной теорией относительности, чтобы подчеркнуть тот факт, что все вышеизложенное применимо только к равномерному движению, или движению без ускорения. Для ускоренного движения (когда гонщик «Формулы-1» нажимает на газ или ракета взлетает в космос) нам нужно нечто более общее и глубокое — общая теория относительности Эйнштейна. Мы подробно поговорим об этом дальше, когда погрузимся на дно Марианского желоба.

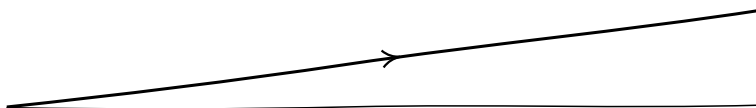
А пока давайте придерживаться специальной теории относительности Эйнштейна. В нашем примере предполагается, что Болт, гепард, импала и луч света двигаются с постоянной скоростью друг относительно друга. Их скорости могут различаться, но не меняются со временем, и главное, несмотря на эти различия, все видят, что световой луч удаляется от них со скоростью 299 792 458 метров в секунду. Как мы уже видели, это общее представление о скорости света, безусловно, противоречит нашему повседневному пониманию относительных скоростей, когда одна скорость вычитается из другой. Но причина здесь только в том, что вы не привыкли путешествовать со скоростями, близкими к световой. Иначе вы бы смотрели на относительные скорости совсем по-другому.

Проблема во времени.

Видите ли, вы предполагали, что в небесах есть какие-то огромные часы, которые сообщают нам точное время. Возможно, вы не считаете, что предполагаете такое, но это именно так, — в частности, когда начинаете вычитать относительные скорости, руководствуясь тем, что считаете здравым смыслом. Мне жаль вас разочаровывать, но эти абсолютные часы — фантазия. Их нет. В реальности существуют лишь часы на вашем запястье, часы на моем запястье или часы на Boeing 747, летящем через Атлантику. У каждого из нас есть собственные часы, собственное время, и показания этих часов не всегда совпадают, особенно если кто-то мчится со скоростью, близкой к световой.

Предположим, я поднимаюсь на борт Boeing 747 и вылетаю из Манчестера. К тому моменту, когда самолет достигает побережья в Ливерпуле, он летит со скоростью несколько сотен километров в час. К легкому

раздражению других пассажиров, я решаю подкинуть мяч в салоне на пару метров. Моя сестра Сьюзи (живущая в Ливерпуле) находится на пляже, когда самолет двигается над ней, и, с ее точки зрения, мяч пролетает значительно дальше — примерно двести метров или больше. На первый взгляд кажется, что такая ситуация не требует серьезного пересмотра нашего повседневного представления о времени. В конце концов, быстро летящий самолет просто переносит мяч с собой, и, естественно, Сьюзи видит, что он перемещается намного дальше. Но теперь поиграем в аналогичную игру со светом. Я ставлю вертикально на полу салона фонарик и включаю его: вертикальный луч света движется перпендикулярно направлению движения самолета. Через какое-то очень короткое время я вижу, как свет достиг потолка салона. Если бы Сьюзи могла заглянуть внутрь, она увидела бы, как свет распространяется по диагонали, поднимаясь от пола к потолку, но при этом также перемещаясь горизонтально вместе с самолетом.



Траектория светового луча в глазах Сьюзи на пляже

Для нее это расстояние по диагонали больше, чем то расстояние по вертикали, которое измерил я; следовательно, она увидела, что свет прошел большее расстояние, нежели увидел я. Однако свет и для нее двигался с такой же скоростью. Это может означать только одно: для Сьюзи свету потребовалось больше времени, чтобы пройти свой путь. Иными словами, с ее точки зрения, мир внутри самолета должен двигаться в замедленном темпе. Этот эффект известен как замедление времени.

Степень замедления зависит от относительной скорости — скорости моего самолета относительно сестры или скорости Усэйна Болта относительно его родителей на трибунах стадиона. Чем ближе вы к скорости света, тем больше замедляется время. Когда Болт бежал в Берлине, его максимальная скорость составляла 12,42 метра в секунду, а время замедлилось в 1,0000000000000000858 раза [2]. Это рекорд для человека.

Существует и еще одно следствие замедления времени: вы стареете медленнее. Например, Усэйн Болт постарел примерно на 10 фемтосекунд меньше, чем все зрители на трибунах во время берлинского забега. Конечно, фемтосекунда — это не так уж и много (всего лишь одна миллионная доля от миллиардной доли секунды), но все же он постарел меньше, так что, вернувшись в состояние неподвижности, он прыгнул в будущее, хотя и совсем чуть-чуть. Если вы не очень хорошо бегаєте, то для замедления времени можно воспользоваться механическими средствами, и есть все шансы, что у вас получится даже лучше. Например, российский космонавт Геннадий Падалка провел в космосе 878 дней 11 часов и 31 минуту на борту космических станций «Мир» и МКС, вращаясь вокруг Земли со скоростью примерно 28 000 километров в час. В результате ему удалось попасть в будущее на рекордные 22 миллисекунды раньше по сравнению с его семьей, оставшейся на Земле*.

Однако вам незачем становиться космонавтом, чтобы путешествовать во времени таким образом. Таксист, который ездит по городу сорок часов в неделю в течение сорока лет, окажется на несколько десятых микросекунды моложе по сравнению с человеком, который просто сидит на месте. Если вас не впечатляют микросекунды и миллисекунды, подумайте, что может случиться с бактериями, оказавшимися на борту корабля Starshot, который ученые хотят направить к альфе Центавра. Starshot — детище венчурного капиталиста-миллиардера Юрия Мильнера, который планирует разработать аппарат с солнечным парусом, способный долететь до ближайшей к нам звездной системы со скоростью в 20 процентов от световой. Альфа Центавра находится от нас на расстоянии около 4,37 светового года, поэтому до окончания такого путешествия землянам придется ждать более двадцати лет. Однако для самого аппарата и безбилетных бактерий на его борту время замедлится до такой степени, что путешествие займет менее девяти лет.

В этот момент вы можете заметить кое-что подозрительное. Если наша отважная бактерия будет девять лет мчаться со скоростью в одну

* Эта величина также учитывает отрицательное влияние его большой высоты и слабой гравитации. Такие эффекты будут обсуждаться в этой главе далее.
Прим. авт.

пятую от скорости света, то она пролетит менее двух световых лет, а это менее половины расстояния до альфы Центавра. То же и с Усэйном Болтом. Я сказал вам, что он бежал на 10 фемтосекунд меньше, чем вы думали, а поэтому в реальности он и преодолел меньшее расстояние. И это действительно так. С точки зрения Болта, дорожка двигалась относительно него со скоростью 12,42 метра в секунду, поэтому она должна была уменьшиться в длину примерно на 86 фемтометров (что соответствует размеру примерно 50 протонов). Вы можете даже поспорить, что он в каком-то смысле не совсем совершил забег. Для бактерии пространство между Землей и альфой Центавра будет двигаться очень быстро, и в результате оно сократится менее чем на половину своей первоначальной протяженности. Такое сокращение пространства или дорожки берлинского стадиона известно как релятивистское (или лоренцево) сокращение длины. Итак, вы видите, что бег не только уменьшает ваш возраст, но и помогает вам выглядеть стройнее. Если бы вы бежали со скоростью, близкой к скорости света, любой наблюдатель заметил бы, что вы расплющились, как блин, благодаря сокращению занимаемого вами пространства.

Тут есть еще кое-что, о чем вам следует побеспокоиться. Я только что сказал, что дорожка стадиона двигалась относительно Усэйна Болта со скоростью 12,42 метра в секунду. Следовательно, его родители двигались по отношению к нему с точно такой же скоростью. С учетом всего вышесказанного это означает, что Болт должен увидеть, как часы его родителей замедлились. Но это выглядит очень странно, потому что я уже сказал вам: родители Болта должны увидеть, как замедляются часы их сына. Однако на самом деле именно так и обстоят дела: как Уэлсли и Дженнифер видят своего сына в замедленной съемке (!), так и Болт тоже видит их в замедленной съемке. И вот тут есть один действительно тревожный момент: я ведь также отмечал, что Болт финишировал в забеге, оказавшись на 10 фемтосекунд моложе, чем был бы, если бы стоял на месте. Разве мы не можем перевернуть ситуацию и посмотреть на нее с точки зрения Болта? Для его родителей время идет медленнее, так почему они не могут меньше постареть? Кажется, у нас появился парадокс. Он известен как парадокс близнецов (обычно в его объяснении фигурируют близнецы), но, к сожалению, у Усэйна Болта нет близнеца. Впрочем, это неважно.

Истина состоит в том, что именно Болт стареет меньше и остается чуть-чуть моложе. Но почему он, а не его родители?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно учесть роль ускорения. Помните: все, что мы до сих пор обсуждали, относится к равномерному движению, когда ускорение отсутствует. В те моменты, когда Болт бежит с постоянной скоростью 12,42 метра в секунду, он и его родители — инерциальные объекты. Это просто причудливый жаргонный термин, который сообщает, что они не ускоряются, на них не действует никакая дополнительная сила, ускоряющая их или замедляющая. Во всех таких случаях применяются законы специальной теории относительности, поэтому и Болт будет видеть своих родителей в замедленной съемке, и наоборот. Однако спринтер не бежит с постоянной скоростью на протяжении всего забега: сначала он разгоняется с нуля до максимальной скорости, а в конце снова замедляется. На отрезках, когда он ускоряется или замедляется, бегун не является инерциальным объектом (в отличие от своих родителей). Движение с ускорением — совершенно другое дело. Например, даже если запереть вас в каюте корабля без окон, вы однозначно сможете сказать, ускоряется ли корабль, потому что почувствуете силу, действующую на ваше тело. Слишком сильное ускорение может даже убить вас. Конечно, смерть Болту никогда не грозила, однако его ускорения и замедления было вполне достаточно, чтобы убрать эквивалентность между ним и его родителями. Такая асимметрия устраняет наш парадокс: более подробный анализ, где тщательно учитывается ускоренное движение бегуна, показывает, что немного меньше будет стареть именно Болт, а не его родители.

Важно понимать, что это не просто забавное развлечение с уравнениями. Это реальные эффекты, которые ученые уже измерили. Установлено, что быстро движущиеся атомные часы тикают медленнее, чем их стационарные аналоги; они «меньше стареют», подобно Усэйну Болту в Берлине. Еще одно свидетельство дала крохотная частица под названием *мюон*: у нее обнаружена «отсрочка смерти». Мюон очень похож на обычный электрон, вращающийся вокруг ядра атома, но примерно в двести раз тяжелее и живет гораздо меньше. Примерно через две миллионные доли секунды он распадается на электрон и маленькие нейтральные частицы, называемые *нейтрино*.

В Брукхейвенской национальной лаборатории в Нью-Йорке проводится эксперимент, в ходе которого мюоны разгоняют по 44-метровому кольцу до скорости в 99,94 процента от световой. Если учесть известную продолжительность их жизни, можно ожидать, что мюоны до своего распада совершат только 15 кругов; однако каким-то образом они проходят примерно 438 кругов. Дело тут не в том, что у них как-то удлинилась жизнь (если бы вы двигались рядом с одним из мюонов с той же скоростью, вы бы все равно увидели, как он распадается через две миллионные доли секунды*), просто при движении на такой скорости длина окружности кольца уменьшается в 29 раз по сравнению с исходной. В результате мюон успевает пройти около 438 кругов, потому что на каждом круге из-за сокращения длины ему приходится проходить меньшее расстояние.

Сокращение длины и замедление времени помогают нам понять, почему ничто и никто (и даже Усэйн Болт) не может двигаться быстрее света. По мере того как Болт все ближе подбирается к скорости света, кажется, что его время замедляется до полной остановки, а расстояния, с которыми он сталкивается, стягиваются к нулю. Как можно еще больше замедлить время? Куда можно еще уменьшить расстояния? Просто некуда. Скорость света представляет собой некий барьер, и единственный разумный вывод состоит в том, что ничто и никто не может двигаться быстрее.

Ускоряясь и приближаясь к скорости света, Болт потребляет все больше калорий, пытаясь разогнаться все сильнее. Скорость света выглядит непреодолимым барьером, поэтому в конце концов его скорость начинает стабилизироваться, а ускорение замедляться. Чем ближе он к скорости света, тем труднее двигаться. Его инерция — сопротивление ускорению — становится все больше. В этом и состоит проблема с попыткой разогнаться до скорости света: инерция увеличивается до бесконечности.

Но откуда берется эта инерция? Единственное, что Болт привносит в систему, — это энергия, и именно она должна быть источником дополнительной инерции Болта. Энергия никуда не исчезает, она просто

* При этом жизнь мюона увеличивается по отношению к стороннему наблюдателю. *Прим. науч. ред.*

меняет свой вид, переходя из одной формы в другую. Таким образом, инерция должна быть какой-то формой энергии, и это должно быть истинно, даже когда Болт находится в покое. Хорошо то, что для Болта, находящегося в покое, мы точно знаем инерцию: это просто его масса, ведь чем он тяжелее, тем ему труднее двигаться. Масса и энергия являются одним и тем же — в соответствии с формулой Эйнштейна [3]: $E = mc^2$. Ужаснее всего в этой формуле то, какое огромное количество энергии (E) можно получить из массы (m) благодаря огромной величине скорости света (c). Усэйн Болт в состоянии покоя весит около 95 килограммов, и, если всю эту массу преобразовать в энергию, она окажется эквивалентна 2 млрд тонн тротила. Это более чем в 100 000 раз превышает энергию, выделившуюся при взрыве в Хиросиме.

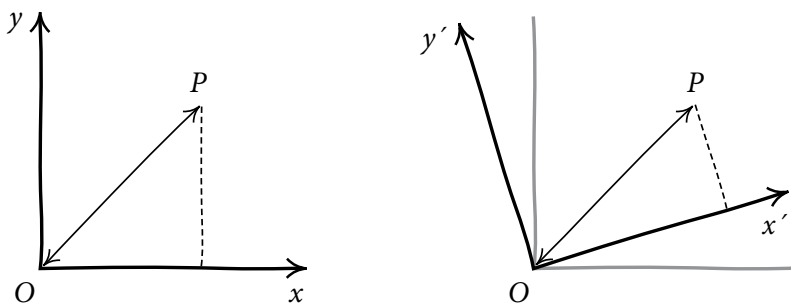
Теперь поговорим о пространстве-времени.

Погодите. Что это? Откуда оно взялось? На деле все это время мы говорили о пространстве-времени. Сокращение длины. Замедление времени. В вышеуказанных примерах время и пространство растягиваются и сжимаются в идеальном тандеме. Поэтому неудивительно, что они должны быть связаны, оказаться частью чего-то большего. Родившийся в Российской империи и проработавший почти всю жизнь в Германии математик Герман Минковский был настолько вдохновлен идеями Эйнштейна, что совершил первый прыжок в пространство-время. Он заявлял: «Отныне пространство само по себе и время само по себе уходят в мир теней, и в реальности существует лишь их своеобразное сочетание». Довольно любопытно, что Минковский некогда учил молодого Эйнштейна в Высшей технической школе Цюриха, хотя вспоминал его как лентяя, которого никогда не волновала математика.

Что на самом деле Минковский подразумевал под пространством-временем? Чтобы понять это, мы должны начать с трех пространственных измерений. У пространства есть три измерения, потому что для определения своего положения вам нужно указать три независимые координаты: например, две ваши GPS-координаты и высоту над уровнем моря. Теперь взгляните на часы и запишите время. Подождите 30 секунд и снова посмотрите на часы. Те два момента, когда вы смотрели на часы, произошли в одной и той же точке пространства,

но в разные моменты. Мы могли бы различать их, введя еще одну (временную) координату для отображения момента, в который произошло каждое из этих событий. Таким образом, у нас есть четвертая независимая координата — четвертое измерение. Соединим их и получим пространство-время.

Чтобы должным образом оценить элегантность концепции пространства-времени, следует подумать о том, как мы измеряем расстояния — сначала в пространстве, а затем в пространстве-времени. Расстояния в пространстве можно измерить с помощью теоремы Пифагора. Вы, вероятно, помните это школьное утверждение о прямоугольных треугольниках: квадрат гипотенузы равен сумме квадратов катетов. Однако эта старая теорема дает гораздо больше, чем вы могли решить поначалу. Чтобы понять почему, давайте сначала построим пару перпендикулярных осей, как показано на левом рисунке.



Относительно этих осей точка P имеет координаты (x, y) , и по теореме Пифагора мы легко получаем, что она находится от центра координат на расстоянии $d = \sqrt{x^2 + y^2}$. Если мы повернем оси вокруг начала координат O , как показано на правом рисунке, и определим новый набор координат (x', y') , расстояние от начала координат, очевидно, останется неизменным и теорема Пифагора будет работать так же, как и раньше:

$$d^2 = x^2 + y^2 = x'^2 + y'^2.$$

В этом и заключается настоящая прелесть теоремы Пифагора: расстояние остается неизменным даже при повороте координат.

Теперь о пространстве-времени. Минковский предложил нам объединить пространство и время. Конечно, в действительности нам хочется смешать три пространственных измерения с единственным временным измерением, но для простоты давайте рассмотрим одно пространственное, обозначенное координатой x , и соединим его со временем, обозначенным координатой t . Минковский определил, что для измерения расстояния d в этом пространстве-времени мы должны использовать странную форму теоремы Пифагора, которая задается формулой

$$d^2 = c^2t^2 - x^2.$$

Да-да, именно так: знак минус. Что все это означает? Мы к этому еще вернемся, но сначала нам нужно понять фрагмент c^2t^2 . Мы хотим измерять расстояния и сразу констатируем очевидное: время — не расстояние. Чтобы превратить его в расстояние, нужно умножить его на какую-то скорость, а что может быть лучше скорости света? Это означает, что c^2t^2 можно рассматривать как единицу измерения квадрата расстояния, а это именно то, что нам нужно, когда мы думаем о теореме Пифагора. Теперь о знаке минус. Мера расстояния в пространстве-времени должна оставаться неизменной всякий раз, когда мы выполняем аналогичное вращение пространства-времени: когда проводим те преобразования, которые переводят нас между наблюдателями, движущимися друг относительно друга, — например, преобразование, которое переводит положение родителей Усэйна Болта в положение его самого. Такие «вращения» называются *преобразованиями Лоренца*; они кодируют растяжение времени и сжатие пространства, которые делают физику относительности такой удивительно причудливой. Таинственный знак минус имеет решающее значение для сохранения неизменными расстояний в пространстве-времени всякий раз, когда вы совершаете такой переход между инерциальными наблюдателями в относительном движении. Возможно, проще всего это увидеть для света, который движется в пространстве со скоростью $x / t = c$. Подставив это в формулу Минковского [4], мы увидим, что свет находится на нулевом расстоянии от начала координат в пространстве-времени. Начало координат остается на месте всякий раз, когда мы «вращаем» наши пространственно-временные координаты, и поэтому свет должен выглядеть одинаково

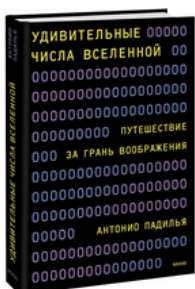
для всех наблюдателей. Ничто не движется быстрее света в пространстве, но в пространстве-времени он вообще не перемещается ни на какое расстояние. Вот что делает его особенным.

А что насчет вас? Что вы делаете в пространстве-времени? Ну я предполагаю, что вы удобно устроились в кресле и читаете эту книгу. Что бы вы ни делали, мы знаем, что вы не движетесь в пространстве, определенном относительно вас самих, но движетесь во времени и поэтому должны двигаться в едином пространстве-времени. Насколько быстро? Что ж, берем формулу для расстояния при $x = 0$, получаем $d = \sqrt{c^2 t^2}$ и легко видим, что вы движетесь в пространстве-времени со скоростью $d / t = c$. Иными словами, вы перемещаетесь сквозь пространство-время со скоростью света. Как и все другие люди.

Соединив свои пространственно-временные координаты с расстоянием в пространстве-времени, Минковский начал строить удивительно изящную картину физики в терминах четырехмерной геометрии. Если записать на этом новом языке уравнения Максвелла, они обретают невероятно простую форму. Разделять пространство и время — все равно что смотреть на мир сквозь туман. Соедините их — и откроется мир удивительной красоты и простоты. Это и делает теоретическую физику таким замечательным предметом: чем больше вы понимаете, тем проще она становится. Возможно, это не более очевидно, чем использование Эйнштейном геометрии, чтобы победить силу гравитации и увидеть, что это обман. Эту историю мы расскажем попозже, снова используя замедление времени. Однако на этот раз мы не станем бежать вместе с Усэйном Болтом или мчаться сквозь космос с Геннадием Падалкой. Мы отправимся к центру Земли, где время идет чуть медленнее, чем на ее поверхности.

Бездна Челленджера

«В действительности сильнее всего ощущение одиночества, осознание того, как крохотный ты опускаешься в это огромное, необъятное, темное, неизвестное и неисследованное место» — так сказал канадский кинорежиссер Джеймс Кэмерон. Эти слова свидетельствуют об ощущаемом чувстве страха, о том, что ситуация не под контролем, что человек



[Почитать описание, рецензии
и купить на сайте](#)

Лучшие цитаты из книг, бесплатные главы и новинки:

