ИНТЕРЛЮДИЯ 1

ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ

[Я не храню] такую информацию в своей голове, потому что ее легко найти в книгах… Ценность образования в колледже не в том, чтобы узнать много фактов, а в том, чтобы научить ум думать.

Альберт Эйнштейн по поводу того, почему он не знает скорости звука — одного из вопросов, включенных в «Тест Эдисона». Опубликовано в New York Times 18 мая 1921 года*

Есть много вещей, которых вы никогда не видели, и вы не знаете об этом, потому что вы не видели их. Вам нужно сначала что-то увидеть, чтобы узнать, что вы этого не видели, а потом вы видите это и говорите: «Эй, я никогда такого не видел». Поздно, вы только что это увидели!

Джордж Карлин, «Снова за старое» (фильм)

Вещи, которых вы не видели

Есть многое, чего вы никогда не видели, и эта интерлюдия посвящена коечему из этого. Все слышали об Эйнштейне. Здесь мы увидим, как изобрести для себя одну из многих вещей, которыми он прославился: математическое описание того, как *фактически* работает время, используя такие простые рассуждения, что вы удивитесь, почему вам этого не рассказали давным-давно. На мой взгляд, тот факт, что такое короткое рассуждение существует, но не дается всем на каком-то этапе обучения, одна из самых

* 24 февраля 1921 года Эдисон опубликовал в New York Times объявление о приеме на работу, в котором было 140 вопросов для кандидатов. Вопросы касались истории, географии, физики, химии и т. д. Это список известен как «Тест Эдисона». 18 мая 1921 года New York Times писала, что Эйнштейн не прошел бы тест: «Его спросили через секретаря: „Какова скорость звука?“. Он сказал, что не может ответить сразу. Он не хранит такую информацию в голове, но ее легко можно найти в справочниках». *Прим. перев.*

ярких иллюстраций того, что формальное образование в нынешнем виде перепутало все приоритеты. Простой вывод в последней части этой интерлюдии показывает странность Вселенной и воодушевление науки, и вы можете найти его на кафедрах математики и физики, им можно поделиться с друзьями — как народной песней или эпической поэмой. Но он никогда не входит в стандартную программу обучения. Мы десятилетиями даем людям все, что нужно для понимания этого рассуждения, но само его не показываем. Почему? Потому что специальная теория относительности — «углубленная» тема, которая не внесена во вводные курсы физики и евклидовой геометрии, где получают математические сведения, нужные для понимания этого рассуждения. В итоге оно остается бездомным. Не имея подходящего дома для этого красивого и разрывающего интуицию рассуждения в обязательном курсе обучения, мы попробуем увлечь учеников тайнами физического мира, сосредоточившись на математическом описании маятников, снарядов и того, как шар скатывается по холму. Но хватит разглагольствовать. Пора веселиться!

Во-первых, прежде чем увидеть, как работает время, мы изучим краткое рассуждение, которое покажет очевидную справедливость формулы для кратчайшего пути, обычно именуемой теоремой Пифагора. Во-вторых, мы поймем, что это — самая сложная математическая идея, которая нужна для понимания одной из главных идей специальной теории относительности Эйнштейна: факта, что время замедляется, когда вы движетесь. Мы используем эту фразу как сокращенное описание, но она не совсем точна. На деле всякий раз, когда два объекта (включая людей) не движутся с одной скоростью или в одном направлении, они отмечают, что «время» другого объекта идет с иной скоростью*. Как бы странно это ни звучало, это не просто теория или факт о людях и часах. Это фундаментальное знание о структуре пространства и времени, которое получило больше экспериментальных подтвержде-

* Трудно оценить по достоинству такую идею с помощью столь короткого словесного описания, и если для вас в этом мало смысла, не беспокойтесь. Скоро его станет больше, когда мы приобретем немного предварительных сведений.

ний, чем любая другая научная идея. К концу интерлюдии вы поймете математическое рассуждение, показывающее, что «замедление времени» реально. Но вы можете убрать ощущение, что не понимаете этого, ведь вывод тут всегда удивителен, независимо от того, как хорошо вы поняли само рассуждение. И даже если нашему мозгу примата сложно что-то представить, математика должна иметь смысл, а если не имеет, то это моя вина. Готовы? Поехали.

Кратчайшие пути

Не всё в мире вертикально или горизонтально. Объекты могут быть наклонены в любом направлении. Это не очень удобно: часто информация, которую мы обрабатываем, поступает как факты о двух перпендикулярных направлениях. Их мы (абстрактно) воспринимаем как вертикальное и горизонтальное. Например, «до этого места три квартала на восток и четыре на север» или «то-то и то-то имеет 100 м в высоту и находится в 200 м». Предположим, у нас есть только информация о таких двух расстояниях: одно мы называем горизонтальным, а второе — вертикальным. Мы можем обсудить вопрос, нарисовав треугольник, у которого одна сторона вертикальна, а другая горизонтальна. Заметьте: дело вовсе не в треугольниках. Обсудим вопрос абстрактно, забыв о неважных деталях. Обозначим стороны треугольника a, b и c (рис. 1.9) и предположим, что мы знаем значения a и b. Можем мы с помощью только этой информации узнать длину «кратчайшего пути», c?

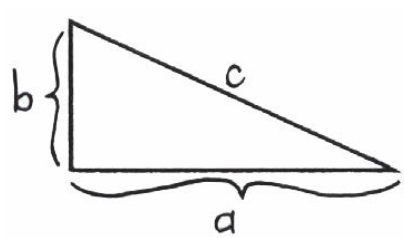


Рис. 1.9. Это не подпись к рисунку*

* Видимо, отсылка к картине Рене Магритта «Вероломство образов», на которой изображена курительная трубка с подписью «Это не трубка». *Прим. перев.*

Пока не совсем понятно, как найти длину c, если мы знаем a и b. Поскольку у нас нет идей, куда двигаться, наша единственная надежда — посмотреть, не можем ли мы превратить эту трудную задачу в такую, которая содержит только уже знакомое нам. Мы изобрели не так много математики, и у нас маловато знакомого, но мы знаем площадь прямоугольника. Поэтому хороший вариант — посмотреть, нельзя ли построить прямоугольник из нескольких копий изображенного выше треугольника. Возможно, потом мы сможем продвинуться в решении (или не сможем, но стоит попытаться). Тогда первое, что придумал бы лично я, — взять две копии треугольника с картинки и сложить их вместе в прямоугольник шириной a и высотой b. К сожалению, после изучения получившейся картинки мы по-прежнему сбиты с толку: не похоже, что такой простейший способ составления прямоугольника скажет нам что-то о кратчайшем пути. К счастью, второй по простоте способ оказывается полезнее (рис. 1.10).

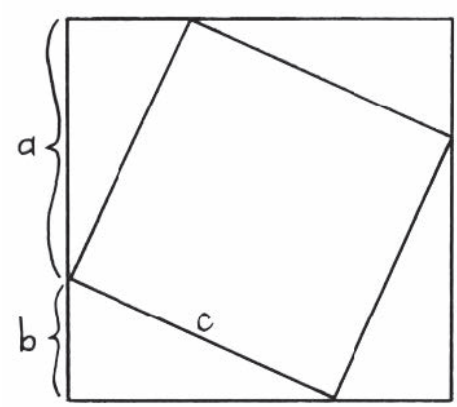
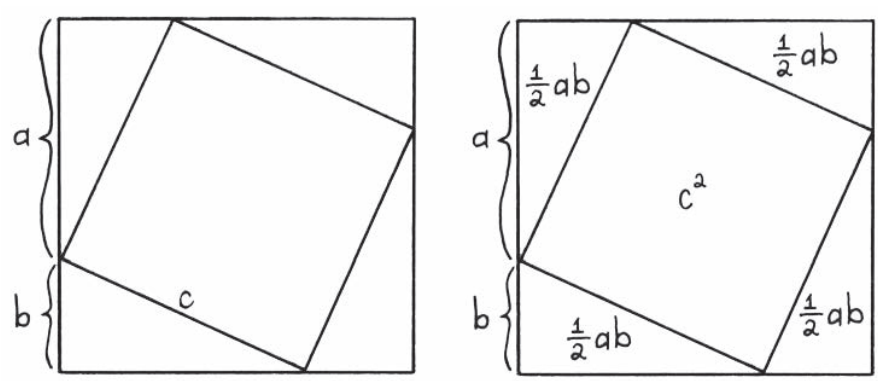


Рис. 1.10. Построение квадрата внутри квадрата с помощью четырех копий треугольника и пустого пространства. Теперь мы можем говорить о чем-то, с чем незнакомы (кратчайший путь), в терминах того, что мы знаем (площадь квадрата)

Мы построили большой квадрат из четырех копий исходного треугольника, у которых кратчайшие пути образуют квадратную область

пустого пространства посередине. Как и в главе 1, когда мы изобрели очевидный закон разрывания, из простого факта, что рисование картинки на «чем-то» не меняет площади этого «чего-то», можно выжать много сведений. Мы, по сути, нарисовали наклонный квадрат внутри большого. Мы уже знакомы с площадью квадрата, и этот трюк позволяет нам сформулировать предложения о кратчайшем пути, используя наш пока ограниченный словарь. Мы можем написать такие предложения, выразив общую площадь двумя способами. Результаты показаны на рис. 1.11.



Общая площадь =
$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$

Общая площадь =
$c^2 + 2ab$

Рис. 1.11. Записав общую площадь двумя разными способами, мы можем изобрести формулу кратчайшего пути, именуемую в учебниках теоремой Пифагора

С одной стороны, мы нарисовали большой квадрат, длина стороны которого равна $a + b$, а площадь — $(a + b)^2$. В главе 1 мы убедились, что $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$, нарисовав картинку, которая сделала это очевидным. Это один способ описать наш рисунок, но есть и другой. Общая площадь равна сумме площади пустого пространства посередине (c^2) и площади всех треугольников. Мы не знаем площади треугольника, но если приложить любые два треугольника друг к другу (как в первой неудачной попытке подступиться к задаче), у нас получится прямоугольник

площадью ab. Всего у нас четыре треугольника, и из них можно построить два прямоугольника. Мы видим, что общая площадь составляет $c^2 + 2ab$. Мы описали одно и то же двумя способами, поэтому можем поставить знак равенства между описаниями и получить: $a^2 + 2ab + b^2 = c^2 + 2ab$.

Следующая часть крайне важна, читайте внимательно. Вышеприведенное математическое предложение говорит, что одно равно другому. Если две вещи действительно *равны* (одинаковы), мы можем изменять обе одинаковым способом, и они (хотя и менялись по отдельности) *после таких преобразований по-прежнему будут равны*. Два ящика с одинаковым, хотя и неизвестным содержимым будут по-прежнему иметь одинаковое наполнение, если мы произведем с каждым из них одно и то же действие. Это верно независимо от действия (например, «вынуть все камешки», или «добавить семь шариков», или «сосчитать количество шляп в каждом и удвоить его»), пока мы соглашаемся, что все они одинаковы. Вот почему мы можем сказать (на стандартном жаргоне): «Вычтите слагаемое $2ab$ из обеих частей вышеприведенного уравнения». Убедитесь, что вы поняли это. Это не свойство математики или уравнений и не какой-то загадочный «закон алгебры». Это простой факт о нашем обиходном представлении о двух одинаковых вещах: одинаковые изменения одинаковых объектов должны давать одинаковые результаты*. Если это не так, мы не можем использовать термин «одинаковый». Итак, сделав указанное изменение, мы приходим к предложению:

$$a^2 + b^2 = c^2.$$

Это позволяет нам говорить о кратчайшем пути в терминах горизонтальных и вертикальных отрезков; назовем это равенство «формулой кратчайшего пути». Учебники обычно именуют его теоремой Пифагора, что звучит как название волшебного меча или болезни, которую вы подхватываете, выпив некипяченой воды.

* Понимание этого простого факта и его следствий позволит нам пропустить значительную часть типичного вводного курса алгебры.

Фикция абсолютного времени

Такие события, как… коперниканская революция… оказались возможными лишь потому, что некоторые мыслители либо сознательно решили разорвать путы «очевидных» методологических правил, либо непроизвольно нарушали их.

Пол Фейерабенд, «Против метода»

Всего несколько выверенных рассуждений могут изменить способ нашего восприятия мира.

Стивен Ландсбург, «Экономист на диване»*

Запаситесь попкорном, дорогой Читатель, и приготовьтесь: сейчас вы увидите одно из самых красивых рассуждений в науке. Такой вывод нелегко принять человеческим мозгом, поэтому вы не сможете понять его внутренне. Никто не может. Но даже та простая математика, которую мы уже изучили, предлагает способ обмануть некоторые внутренние ограничения нашего мозга и выйти за их рамки. Этот раздел мы пройдем быстрее, чем раньше, но не беспокойтесь. Вывод ниже логически независим от оставшейся части книги, и даже если вы не поняли ничего из нижеследующего, вы не отстанете, когда мы начнем изобретать анализ в главе 2. Поэтому наслаждайтесь. Вам понадобится три вещи, чтобы понимать то, что мы будем делать.

1. (Пройденное вами расстояние) = (Скорость, с которой вы движетесь) · (Время движения), если ваша скорость не меняется в течение всего пути. Все мы знаем это интуитивно, но можем легко позабыть, когда это выражено в абстрактной форме. Просто скажем: а) если вы двигаетесь 3 часа со скоростью 50 км/ч, то вы проедете 150 км; б) не важно, какие именно числа мы использовали в пункте а). Напишем, что $d = st$ обозначает «(расстояние) равно (скорости), умноженной на (время)».

* Издана на русском языке: Ландсбург С. Экономист на диване. Экономическая наука и повседневная жизнь. М.: Издательство Института Гайдара, 2012. *Прим. ред.*

2. Формула для кратчайшего пути, которую мы изобрели выше (теорема Пифагора).

3. Странный факт о свете.

Странный факт о свете — не математический, а физический, и он настолько абсурден, что не удивляйтесь, если не понимаете его. Его абсурдность лучше всего выражается тем, насколько он отличается от всего, что все мы знаем. Мы знаем вот что: если вы бросите теннисный мяч со скоростью 100 км/ч, а потом немедленно (с помощью каких-то сверхспособностей) помчитесь за ним со скоростью 99 км/ч, то все будет выглядеть так, будто мяч удаляется от вас со скоростью 1 км/ч (по крайней мере, пока не упадет). Тут нет ничего загадочного.

А вот кажущийся невозможным факт о свете: если вы «бросите» его (например, выпустите несколько световых частиц-фотонов из фонарика, стоя неподвижно), а потом тут же помчитесь за ними со скоростью 99 процентов световой, то ситуация *не* будет выглядеть так, что свет удаляется от вас со скоростью один процент световой! Он будет удаляться от вас со световой скоростью — той же, с которой убегал бы, если бы вы не стали догонять его.

Если это кажется невозможным, прекрасно! Значит, вы внимательны. Вместо того чтобы пытаться понять это, думая, как такое вообще может быть верно, попробуем сыграть в игру, аналогичную той, в которую играл Эйнштейн в 1905 году. Мы скажем: «Хорошо, это выглядит невозможным, но есть доказательства, что это верно, почему бы нам не спросить себя: *если это истина, то что еще должно быть истинным?*».

Для начала вообразим странное устройство, которое я называю световыми часами. Чтобы сконструировать его, вообразите, что вы держите два зеркала на небольшом расстоянии друг от друга. Поскольку свет отражается от них, воображаемое устройство держит его в ловушке: он носится между зеркалами туда и сюда. Как мы знаем, можно измерять время в секундах, часах, днях или как нам захочется, поэтому выберем такую единицу времени: время, которое нужно свету, чтобы добраться от одного

зеркала до другого. Мы можем придумать для нее название, например «шмекунда» или еще что-нибудь, но нам это не нужно.

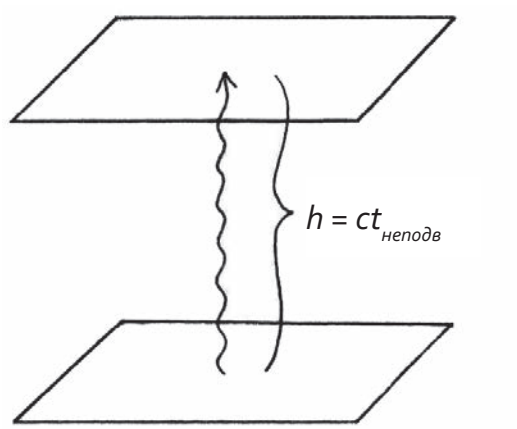


Рис. 1.12. Наши воображаемые световые часы состоят из двух зеркал, одно из которых находится на высоте *h* относительно другого, и частицы света, которая отражается между ними

Введем некоторые обозначения. По историческим причинам для скорости света обычно используется буква *c*. Собственно, это первая буква латинского слова, означающего «быстрота» (celeritas), и скорость света, без преувеличения, максимально достижимая в нашей Вселенной. Если оставить в стороне латынь, такое обозначение имеет смысл.

Итак, пусть *c* — скорость света. Обозначим буквой *h* расстояние по высоте между зеркалами и будем использовать $t_{неподв}$ для времени, которое нужно свету, чтобы добраться от одного зеркала к другому (скоро поймете, почему $t_{неподв}$, а не просто *t*). Я изобразил наши световые часы на рис. 1.12.

В начале раздела мы убедились, что (пройденное вами расстояние) = (скорость, с которой вы двигаетесь) · (время движения), если скорость не меняется. Поэтому с помощью введенных нами обозначений мы можем написать $h = ct_{неподв}$ или сказать то же иначе:

$$t_{неподв.} = \frac{h}{c}. \tag{1.10}$$

Теперь представим, что на часы смотрят два человека. Один из них находится в ракете, которая движется горизонтально, и держит эти часы в руках. Другой на Земле и смотрит на ракету и часы, пролетающие с какой-то скоростью, которую обозначим *s*. Это показано на рис. 1.13.

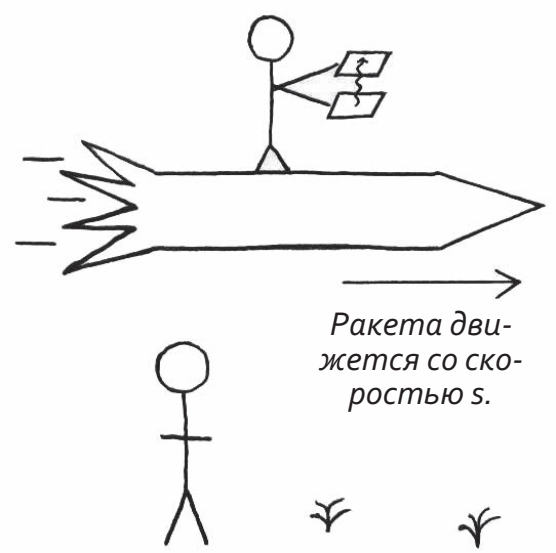


Рис. 1.13. Наши световые часы на ракете, которая движется со скоростью *s* мимо наблюдателя, стоящего на Земле

Итак, рассуждение выше, $h = ct_{\text{неподв}}$, должно описывать то, что видит человек в ракете. Возможно, вас смутит, что мы используем слово «неподвижное», хотя человек в ракете «движется». Но дело в том, что он не движется *относительно световых часов*: раз он их держит, то они «неподвижны» относительно его.

Как мы обсудим ниже, «движется» по сути не означает ничего, если не уточнить «движется относительно того-то». Так, а что сейчас увидит наблюдатель на Земле? Для него свет, пойманный в часах, будет попрежнему двигаться вверх и вниз. Но часы движутся еще и по горизонтали, и ему покажется, что частица света будет отражаться по диагонали, вроде зуба пилы, как показано на рис. 1.14.

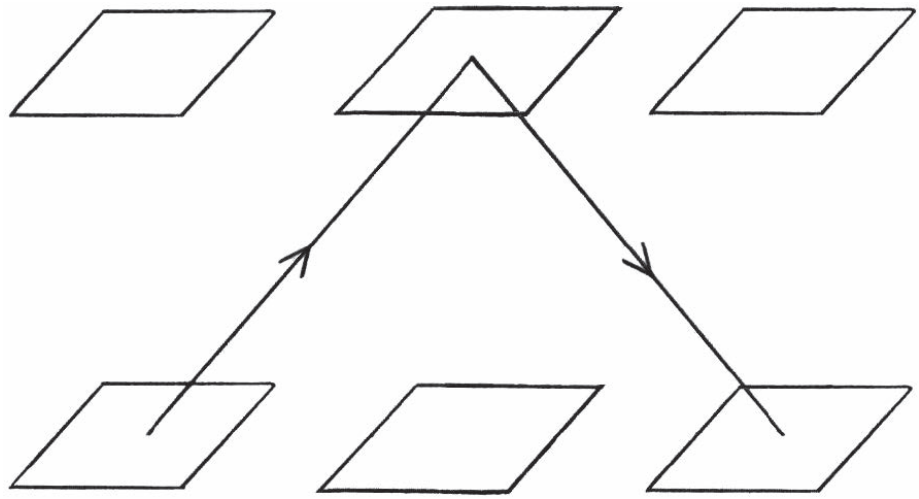


Рис. 1.14. Три моментальных снимка световых часов, показывающие, как наблюдатель на Земле видит движения света вверх и вниз. С его точки зрения свет идет по диагонали, поскольку перемещается вверх и вниз между зеркалами, когда сами они движутся мимо него слева направо. Пока человек видит пролетающую мимо ракету, частицы света рисуют что-то вроде зуба пилы

Вспомним, что в рассуждении выше (когда мы пришли к выводу $h = ct_{\text{неподв}}$) мы говорили о времени, которое нужно свету, чтобы пройти от одного зеркала к другому. Сделаем это снова, но теперь с точки зрения человека на Земле. Мы можем использовать сокращение $t_{\text{движ}}$ для времени, которое нужно свету, чтобы пройти между зеркалами, как это видит наблюдатель на Земле. Нижний индекс напоминает нам, что этот парень видит перемещающиеся световые часы. Возможно, вас удивит, зачем давать два разных названия одному промежутку времени. В конце концов, очевидно, что это одно и то же. Но не спешите! Мы уже видели, что свет ведет себя очень странно, и Эйнштейн всерьез рассматривал возможность, что эти два промежутка времени неодинаковы. Так что дадим им разные названия на всякий случай. Если они окажутся одинаковыми, мы обнаружим это позже. Если нет — мы тоже это выясним.

Теперь, сосредоточившись на пути света с рис. 1.14, мы можем определить расстояние, которое проходит свет за одно «тикание часов» с точки

зрения наблюдателя на Земле. Это показано на рис. 1.15. Вертикальное расстояние между зеркалами по-прежнему составляет h, а расстояние, которое свет проходит по горизонтали, — $st_{движ}$, поскольку ракета движется со скоростью s и мы считаем, что это происходит за время $t_{движ}$.

Здесь мы используем странный факт о свете: как бы быстро вы ни перемещались, кажется, что он двигается с одной и той же скоростью. Поэтому оба наших персонажа увидят, что свет движется с одной и той же скоростью c. Но человек на Земле наблюдает, как свет перемещается по диагонали в течение времени $t_{движ}$ и проходит расстояние, равное произведению скорости на время, то есть $ct_{движ}$. Это странно. Например, если бы свет был обычным мячом, который прыгал туда и сюда между зеркалами, его диагональная скорость, видимая с Земли, была бы *больше*, чем вертикальная с точки зрения парня с ракеты. Так мы «рассказали всю математику» факта о свете, который сочли странным. Сейчас мы можем увидеть, что еще в результате должно оказаться истинным.

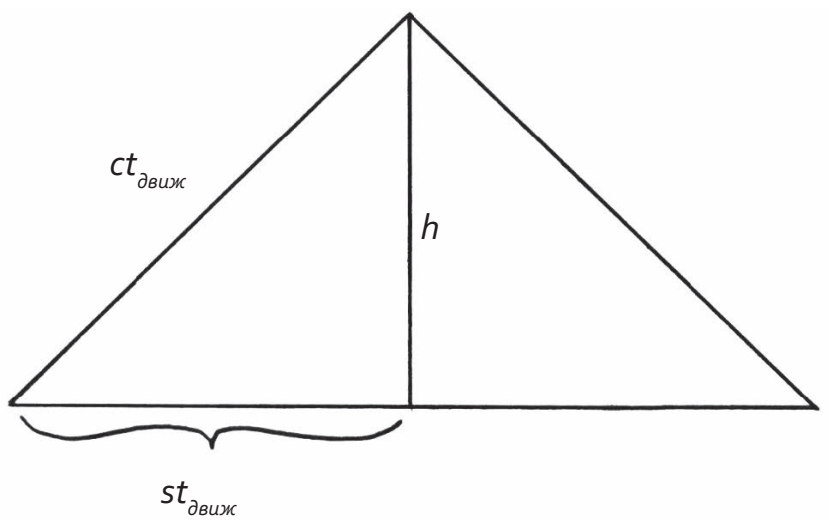


Рис. 1.15. Изображаем все расстояния. Подумаем, какое время нужно свету, чтобы добраться от низа до верха, с точки зрения наблюдателя на Земле. Расстояние между зеркалами по вертикали по-прежнему равно h. Пройденное расстояние по горизонтали — $st_{движ}$, а по диагонали — $ct_{движ}$ благодаря вышеупомянутому странному свойству света

Теперь мы используем формулу для кратчайшего пути. Поскольку «вертикаль» и «горизонталь» перпендикулярны друг другу, изображение на рис. 1.15 подскажет:

$$h^2 + (st_{\text{движ}})^2 = (ct_{\text{движ}})^2.$$

Мы хотим сравнить время $t_{\text{неподв}}$ и $t_{\text{движ}}$, и у нас уже есть выражение для $t_{\text{неподв}}$, так что найдем $t_{\text{движ}}$ из предыдущего уравнения. Тогда, возможно, нам удастся увидеть, одинаковые ли это промежутки времени. Чтобы найти $t_{\text{движ}}$, перенесем все, что включает его, в одну часть уравнения и получим:

$$h^2 = (ct_{\text{движ}})^2 - (st_{\text{движ}})^2.$$

Однако порядок умножения не важен, то есть $(ab)^2 \equiv abab = aabb \equiv a^2b^2$ для любых a и b. Перепишем предыдущее уравнение так:

$$h^2 = c^2 t_{движ}^2 - s^2 t_{движ}^2.$$

Поскольку обе части выражения справа содержат $t_{\text{движ}}$, мы можем преобразовать это так:

$$h^2 = (c^2 - s^2)\ (t_{\text{движ}})^2.$$

Иначе говоря,

$$\frac{h^2}{\left(c^2 - s^2\right)} = \left(t_{движ}\right)^2. \tag{1.11}$$

Мы установили, что $t_{\text{неподв}} = h/c$, а в левой части предыдущего уравнения *почти* есть нечто, выглядящее как h/c. Проблема в том, что есть и вредное $-s^2$. Если бы его не было, то слева было бы $\frac{h^2}{c^2}$, то есть $t_{неподв}^2$, а это значит, что оба промежутка времени были бы равны. Но есть s^2. Поэтому выполним ловкий математический фокус: солжем, а потом сделаем поправку на ложь. Идея такова. Мы хотим сравнить промежутки времени $t_{\text{неподв}}$ и $t_{\text{движ}}$, поскольку убеждены, что они должны быть одинаковыми. Иначе времени в обиходном смысле не существует — нервирующая мысль! Мы могли бы сравнить эти два промежутка, если бы там не было $-s^2$. Мы не можем убрать его, потому что это будет ложь, и тогда наш вывод тоже неверен. Но мы можем солгать, а затем сделать поправку, и тогда

у нас будет правильный ответ. Так и поступим. Мы хотим переписать уравнение 1.11, чтобы оно выглядело так:

$$\frac{h^2}{\left(c^2 - s^2\right)} = \frac{h^2}{c^2\left(\clubsuit - \spadesuit\right)} = \left(t_{движ}\right)^2.$$

Сейчас мы не в курсе, что такое ♣ и ♠. Наша задача — выяснить, чем они должны быть, чтобы сделать предложение истинным. Зачем? Ну, если нам удастся придумать какие-то значения для ♣ и ♠, которые сделают предложение истинным, то мы сможем заменить выражение $\frac{h^2}{c^2}$ в предыдущем уравнении выражением $t^2_{неподв}$, используя уравнение 1.10, и сравнить два промежутка времени, чтобы увидеть, как на самом деле работает время. Наша цель — сделать истинным такое предложение:

$$c^2(\clubsuit - \spadesuit) = c^2 - s^2.$$

Теперь, когда мы поставили задачу таким образом, все уже не так сложно. Мы хотим, чтобы символ ♣ превратился в c^2 при умножении на c^2, и мы можем считать, что ♣ равен 1. Мы хотим, чтобы символ ♠ превратился в s^2 при умножении на c^2, и мы можем считать, что ♣ равен s^2/c^2, чтобы c^2 внизу уничтожило c^2 вверху.

Большинство математических книжек обходятся без трюков с ♣ и ♠, а вместо этого пишут: вынесем за скобки общий множитель c^2. Мы тоже будем так делать, когда освоимся с этой идеей. Но говорить, что на этой стадии нужно делать что-то под названием «вынесение общего множителя», означало бы, что нам надо тратить время на изучение этого. Мы не будем. Результат процесса можно назвать «вынесением общего множителя», но это плохое описание процесса мышления, выбранного нами. На деле произошло следующее: мы *хотели*, чтобы нечто было истинно (а именно чтобы внизу было c^2), поэтому *солгали*, чтобы это было истинно (просто добавили c^2 там, где хотели), затем *сделали поправку на ложь*, чтобы по-прежнему получить верный ответ.

Еще важнее то, что фраза «вынести общий множитель c^2» звучит так, будто в скобках он уже есть. Его там нет! Если мы игнорируем понятие

о «вынесении общего множителя» и рассуждаем с точки зрения лжи и поправки, то очевидно, что мы можем вынуть что угодно из чего угодно; мы можем вынуть c из $(a + b)$, хотя в этом выражении вообще нет c. Как? Ровно так же, как и в случае с ♣ и ♠ выше. Если вы хотите, чтобы c оказалось снаружи $(a + b)$, просто следуйте той же логике, и вы получите в итоге $c \cdot \left(\frac{a}{c} + \frac{b}{c}\right)$. Что ж, извините за поучение, но это была не просто смена темы разговора. Этот материал крайне важен, и я не мог найти лучшего времени, чтобы упомянуть его. В любом случае мы выяснили, что

$$\frac{h^2}{c^2\left(1-\frac{s^2}{c^2}\right)} = \left(t_{движ}\right)^2.$$

Извлекая квадратный корень* из обеих частей и используя тот факт, что $t_{неподв} = \frac{h}{c}$, мы получаем:

$$t_{движ} = \frac{t_{неподвиж}}{\sqrt{1-\frac{s^2}{c^2}}}. \tag{1.12}$$

Уравнение 1.12 выглядит сложновато, но проигнорируем сложность и посмотрим на самую важную его часть: если s не равна 0, промежутки времени $t_{движ}$ и $t_{неподв}$ не одинаковы! Получается, всякий раз, когда два объекта движутся с разными скоростями, их световые часы рассинхронизируются и начинают «тикать» на разных скоростях. Мы можем переписать уравнение 1.12, собрав все объекты, касающиеся времени, в одной его части (поделив обе части на $t_{неподв}$). Единственная причина, по которой у нас может возникнуть желание сделать это, состоит в том, что правая часть

* Мы еще не говорили подробно о квадратных корнях, хотя позже увидим, что они возникают как часть странного процесса, благодаря которому ранее бессодержательное сокращение получает новую жизнь и становится хорошей идеей. Если вы не поняли шага, когда мы извлекли квадратный корень из обеих частей, не беспокойтесь. Скоро мы поговорим об этом. А сейчас просто используем символ $\sqrt{нечто}$ для обозначения (положительного) числа, которое превращается в *нечто*, когда вы умножаете его на себя. Иными словами, $\sqrt{нечто}$ обозначает любое число (?), которое делает истинным предложение $(?)^2 = нечто$. От вас не ожидают, что вы умеете вычислять квадратные корни из каких-то конкретных чисел. Вы получили общее представление, и этого пока достаточно.

зависит только от скорости s. Конечно, она также зависит и от скорости света c, но это просто число, которое никогда не меняется (тот самый исходный странный факт о свете). Однако мы можем менять скорость s. Это позволяет нам чуть лучше представлять наглядно это странное явление замедления времени (рис. 1.16). На нем показано изменение величины $t_{\text{движ}} / t_{\text{неподв}}$ в зависимости от изменения скорости ракеты s. Мы можем представлять эту величину так: во сколько раз $t_{\text{движ}}$ больше, чем $t_{\text{неподв}}$. Чем больше эта величина, тем сильнее нарушается наше повседневное представление о времени.

Оказывается, уравнение 1.12 — не просто факт о световых часах или даже часах в целом. Это факт о фундаментальной структуре пространства и времени, и он был проверен много раз с тех пор, как Эйнштейн открыл его в 1905 году*. Почему мы не замечаем его в обычной жизни? Если вы и я гуляем вместе, а потом я поеду в магазин и вернусь обратно, мы не подумаем, что на самом деле прожили разное количество времени. Однако, как показывает рис. 1.16, промежутки времени, которые мы проживаем, равны, когда мы движемся с одной скоростью друг относительно друга, и почти равны, когда мы движемся со скоростями, которые малы по сравнению со световой.

Даже эта крошечная количественная разница, какой бы незначимой она ни была для повседневной жизни, требует больших качественных изменений в нашем представлении о Вселенной. Привычный нам мир, в котором есть единственное абсолютное представление о времени, просто полезное приближение: ложь, которая полезна, пока мы не движемся слишком быстро относительно окружающих объектов. Но, будучи полезным как обычное представление о времени, это на редкость плохое описание фундаментальной природы реальности.

Еще хуже другое: выясняется, что у нас нет оправданий использованию индексов $_{\text{движ}}$ и $_{\text{неподв}}$ в выражениях $t_{\text{движ}}$ и $t_{\text{неподв}}$. Более тщательное рассмотрение проблемы показывает, что, пока два человека двигаются с некой определенной скоростью и в каком-то направлении (ни один

* Джозеф Лармор и Хендрик Лоренц указали на это явление несколькими годами раньше Эйнштейна. *Прим. перев.*

не ускоряется, не замедляется и не меняет направления), у нас нет оснований сказать, что кто-то из них «неподвижен».

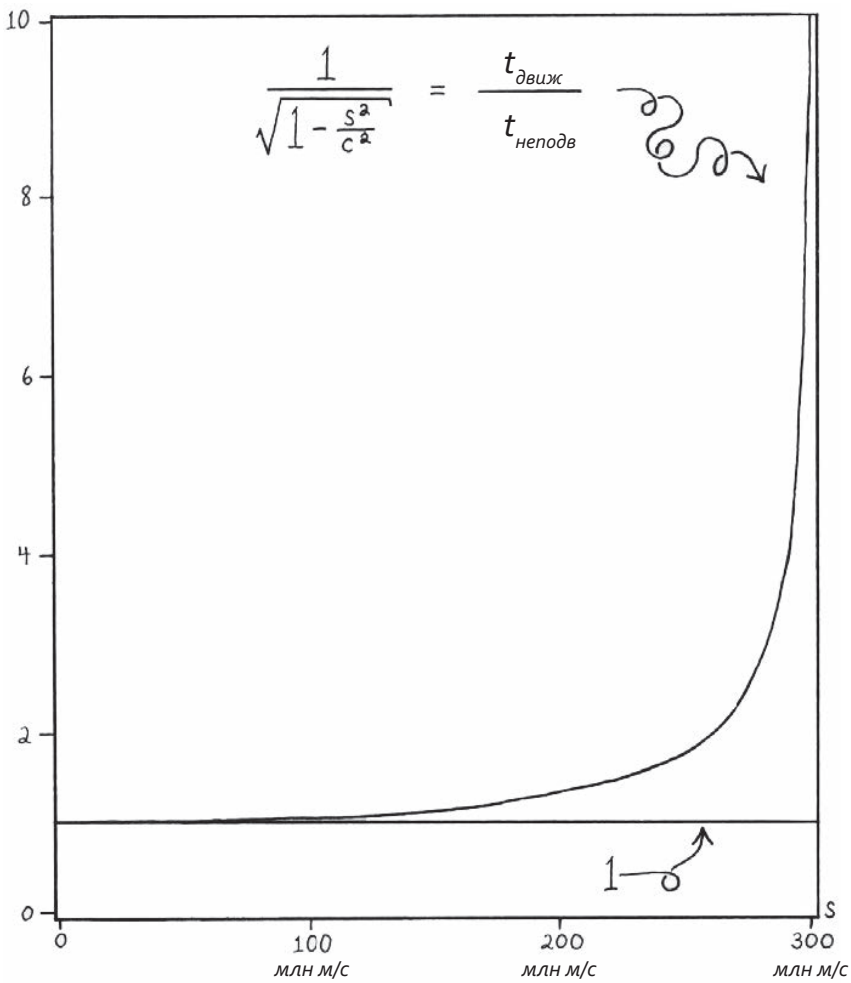


Рис. 1.16. Наглядное представление замедления времени. По горизонтальной оси — скорость, по вертикальной — величина $t_{движ} / t_{неподв}$, которая говорит нам, во сколько раз $t_{движ}$ больше, чем $t_{неподв}$ (насколько сильно нарушается наше повседневное представление о времени). В обычной жизни мы воспринимаем время как константу, то есть $t_{движ} = t_{неподв}$, или, что то же самое, $t_{движ} / t_{неподв} = 1$. Это горизонтальная линия на рисунке. Кривая — реальность: когда вы движетесь относительно кого-то, то время течет медленнее. Если скорости малы по сравнению со световой, наше повседневное представление о времени практически соответствует истине. Но оно все сильнее нарушается, когда скорость приближается к световой (примерно 300 млн м/с)

Мы привыкли использовать слова «движущийся» и «неподвижный», поскольку живем на гигантском камне, окутанном воздухом, и в любое время, когда мы на поверхности Земли или рядом с ней (то есть практически всегда), есть система координат, которая *выглядит* «неподвижной»: система, недвижимая относительно Земли. Но она не «неподвижна» в универсальном смысле. Для ясности рассмотрим двух людей в открытом космосе. Каждый из них может считать, что сам он движется, а другой на самом деле неподвижен. Или он может считать, что сам он неподвижен, а другой движется. Или он может считать, что оба двигаются. Все эти мысли будут одинаково истинны и одинаково ложны.

Чем больше мы изучаем рассуждения такого рода, тем проще нам понять, как бессмысленно «определять» свою фактическую скорость. Имеет смысл определять ее относительно произвольного другого объекта, который мы считаем «неподвижным». Поэтому вывод из нашего рассуждения намного удивительнее, чем может показаться на первый взгляд. Ведь в нашем примере со световыми часами ситуация вовсе не такая, что человек А видит, что у человека В время замедляется, а человек В видит, что у человека А оно ускоряется, и они могут прийти к соглашению. Действительность намного причудливее. Каждый видит, что у другого время замедляется, и — пока они не меняли скорости и направления — оба правы! Вас интересует, кто из близнецов будет старше, если один из них покинет Землю на ракете, летящей с околосветовой скоростью, а второй останется дома, когда они в итоге встретятся и сравнят показания часов? Отлично! Исследуйте парадокс близнецов. Вселенная безумна. Давай еще немного поучимся.