



ИЗДАТЕЛЬСТВО

«М И Р»

NEW YORK UNIVERSITY

RELATIVITY
in
ILLUSTRATION

by
Jacob T. Schwartz

Designed and Illustrated to
FELIX COOPER

1965

ДЖ.
ШВАРЦ

КАК ЭТО ПРОИЗОШЛО?

**ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ РАССКАЗ О ТОМ, КАК
ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ УСТАНАВЛИВАЕТ
СВЯЗИ ПРИЧИН И СЛЕДСТВИЙ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА 1965

УДК 530. 1

Перевод с английского
Н. В. МИЦКЕВИЧА

Редактор
Л. В. ГЕССЕН

Редакция литературы по физике

ОТ РЕДАКЦИИ

Мы предлагаем широким кругам читателей перевод новой книги по специальной теории относительности Эйнштейна. Автор ее, профессор математики Нью-Йоркского университета Джекоб Шварц, сумел совершенно оригинально изложить широко известную всеобщую физическую теорию пространства и времени. Он освободил ее от громоздкости и академичности; эту небольшую книгу с интересом прочтет любознательный человек. Она познакомит его не только с основами теории относительности, но и поможет овладеть простыми и наглядными графическими методами для описания любого движения и очень многих явлений природы. Автор адресует свою книгу прежде всего молодежи, идущей навстречу своему призванию или только делающей первые шаги в науке. Если она поможет ей на этом пути — хорошо. Пусть станет еще больше физиков — они нужны и будут все нужнее человечеству.

Книга Шварца невелика и не отнимет у читателя много времени, но автор затратил на нее много труда. Он советовался со своими коллегами и друзьями, он проверял свое детище на учениках одной из нью-йоркских школ, и в результате книга во многом выиграла. Она представляет не только познавательный, но и особый, методический интерес для любого педагога

(как школы, так и вуза). Читая книгу Шварца, интересно проследить за тем, как он последовательно и настойчиво идет к намеченной цели, не уклоняясь в сторону и не утомляя читателя демонстрацией своей учености, как он щепетильно честно полемизирует с так называемым «здравым смыслом» — нашим багажом привычных представлений, отражающих условия обычной жизни и теряющих право на существование там, где господствуют другие условия.

Мы надеемся, что небольшую книгу Дж. Шварца наш читатель прочтет с удовольствием и большой пользой.

ВВЕДЕНИЕ

Первой революционной физической теорией из созданных в нашем веке была знаменитая теория относительности Эйнштейна. Как мы увидим, эта теория опрокинула многие представления, казавшиеся раньше совершенно бесспорными, — основные взгляды на время и пространство, уходящие корнями в глубь тысячелетий. Но идеи Эйнштейна при всей их глубине вовсе не сложны; возможно, самое прекрасное и заключается в их кристальной ясности и простоте.

Цель нашей небольшой книжки — рассказать об этих идеях. Мы начнем с самых общих соображений, а затем, постепенно вводя представления обычной геометрии, которые потребуются для понимания хода эйнштейновской мысли, перейдем к более специальным понятиям.

Главное, что понадобится читателю, — это вдумчивость и добросовестное стремление овладеть каждой новой идеей, которая будет обсуждаться. Даже там, где сказано мало слов, может содержаться много самого существенного.

ЧТО ТАКОЕ ВРЕМЯ?

Вопрос на первый взгляд глупый — мы ведь так уверены, что знаем это. Но раз уж Эйнштейну удалось сделать столь замечательные открытия, просто поставив этот вопрос серьезно и отвечая на него со всей осмотрительностью, спросим снова:

ЧТО ТАКОЕ ВРЕМЯ?

и еще:

ЧТО ТАКОЕ ПРОСТРАНСТВО?

Рассмотрим сначала первый вопрос:

ЧТО ТАКОЕ ВРЕМЯ?

Мы думаем, что знаем это потому, что, как нам кажется, мы ощущаем непрерывное течение времени. Время (мы это чувствуем прежде всего) — это то, что проходит; его течение отделяет все более раннее от всего более позднего. Что это значит? Это значит, что наши впечатления для каждого из нас

делятся на более ранние и более поздние: сначала происходят одни события, а потом другие, и когда происходят эти последующие события, мы большей частью помним то, что случилось до них; когда же совершались те более ранние события, мы не могли «помнить» событий, которым предстоит еще быть, и могли лишь строить о них догадки.

Сначала мы—малыши и ходим в школу. Потом мы кончаем школу. Потом работаем и женимся. Потом у нас рождаются дети. Сначала они маленькие, и мир их ограничен домом. Потом они идут в школу. Потом они вырастают и уходят от нас. Потом приходит наша старость.

Время подобно нити, а мы — бусинки, скользящие вдоль нее от прошлого к будущему, без возврата, только вперед. Это мы можем почувствовать непосредственно. Но не более.

Если мы захотим узнать о времени больше, чем укладывается в слова «до» и «после», если мы захотим узнать, насколько раньше или насколько позже, то уже не сможем полагаться на свои чувства, на непосредственные впечатления. Наше прямое ощущение времени — лишь качественное. Одни дни кажутся нам длинными, другие — короткими. В детские годы каждый час кажется очень долгим, а год между двумя днями рождения — вечностью. Позднее дни, недели и годы летят как

мгновенья. Чтобы понять время не просто как качественные «позже» и «раньше», а как количественные «через столько-то после» и «за столько-то до», нам необходимо привлечь свой физический опыт.

За ночью следует день, за днем — ночь, и каждые сутки повторяется момент, когда последняя звезда в ручке ковша Большой Медведицы занимает свое самое высокое положение. Промежутки между такими моментами мы называем «сутками». Маятник раскачивается влево и вправо; интервалы между моментами, когда он занимает самое верхнее положение, мы называем «секундами». Маленькая пружинка балансира в наших ручных часах закручивается и раскручивается, управляя движением стрелок, бегающих от деления к делению по циферблату. Регулируя скорость хода часов, мы можем заставить стрелку проходить расстояние между соседними делениями точно за тот же период времени, который разделяет два последовательных верхних положения нашего маятника. Тогда интервалы между моментами, когда стрелка часов оказывается против соседних делений циферблата, также будут равны секундам.

Из всего этого видно, как наше количественное представление о времени черпается из нашего собственного физического опыта. Мы строим свое представление о равных интервалах

времени так, чтобы можно было некоторые простые периодические физические процессы считать повторяющимися через равные промежутки времени. Построив свое представление о «равных интервалах времени» именно таким образом, мы обнаружим, что оно позволяет очень просто описывать многие физические явления. Последняя звезда в ручке ковша Большой Медведицы достигает своего наивысшего положения один раз в 24 часа. Маятник поднимается каждую секунду. Маховик двигателя делает 800 оборотов в минуту. Какая-то радиоволна совершает 7 миллионов колебаний в секунду; другая — 8 миллионов колебаний в секунду. Из того факта, что выбранное нами определение равных интервалов времени обеспечивает простое и единое описание такого множества различных физических явлений, мы видим, что удачно выбрали количественные представления о времени, подходящие для понимания окружающего нас физического мира.

Надо, однако, помнить, что этот успех (как это свойственно и всякому успеху) может оказаться далеко не полным. И прежде всего нужно помнить, что наши количественные представления о времени вытекают из нашего же физического опыта и приобретают определенность **ЛИШЬ** будучи отнесенными к физическому опыту, а потому **ПОДЛЕЖАТ ИЗМЕНЕНИЮ**, как только пересмотр содержания нашего физического опыта выявит потребность в таком изменении.

ЧТО ТАКОЕ ПРОСТРАНСТВО?

Есть у нас и непосредственное качественное представление о пространстве. Мы рассматриваем различные предметы, следя за ними глазами и поворачивая голову влево или вправо, вверх или вниз. Когда мы рассматриваем какой-то предмет, он может казаться нам больше, и мы говорим, что он «ближе», или меньше, и мы говорим, что он «дальше». В такой мере пространство зримо. Еще в колыбели мы шевелим руками, следя за ними, и уже замечаем, что определенные усилия перемещают наши руки вверх или вниз, влево и вправо, ближе или дальше. Сам факт, что вещи, находящиеся слева для глаза, оказываются слева же для «доставания», а вещи, находящиеся ближе для ощупывания, всегда кажутся ближе на взгляд, вселяет в нас уверенность в надежности нашего восприятия пространства.

Но как это было и со временем, пожелав установить количественные представления о пространстве, мы вновь вынуждены воспользоваться своим физическим опытом, особенно опытом в обращении с рулетками, линейками, циркулями, микрометрами, землемерными теодолитами, увеличительными стеклами и микроскопами, телескопами и т. д. Кроме того, мы должны прибегать к умению пригонять вещи друг к другу, причем оказывается, что иногда какие-то куски, как их ни верти,

слишком велики, чтобы прийти в пору, а иногда слишком малы, чтобы покрыть расстояние от одной точки до другой.

Так, глядя, доставая предметы, пригоняя их друг к другу, сравнивая и измеряя, мы вырабатываем количественные представления о пространстве. А поскольку наши количественные представления о пространстве и количественные представления о времени соединяются воедино так, что множество физических явлений получает простое описание, мы делаем вывод, что выбор представлений о пространстве и времени был удачным, вполне подходящим для понимания физического мира.

Но мы не должны забывать, что и этот успех может оказаться далеко не абсолютным. Наши количественные представления о времени и о пространстве вытекают из нашего же физического опыта, и определенность присуща им ЛИШЬ относительно этого же физического опыта, а потому они ПОДЛЕЖАТ ИЗМЕНЕНИЮ, если детальный пересмотр нашего физического опыта выявит необходимость каких-либо изменений.

Теперь самое время перейти от общих рассуждений к деталям. Попробуем разобраться в особенностях того, как совершаются некоторые события во времени и в пространстве, — в «когда» и «где» определенных происшествий. Как это лучше сделать на страницах книги? (*Реплика знакомому с математикой читателю*: метод, который мы

используем, — это просто графическое изображение положений всех событий в пространстве в различные моменты времени. На нескольких следующих страницах разъясняются детали этого метода. Естественно, все это покажется вам совсем простым.) Лучше всего начать со способа, применяемого рисовальщиками забавных картинок, изображающими в серии рисунков последовательные этапы развития истории — последовательные моменты происшествия, которое мы собираемся исследовать.

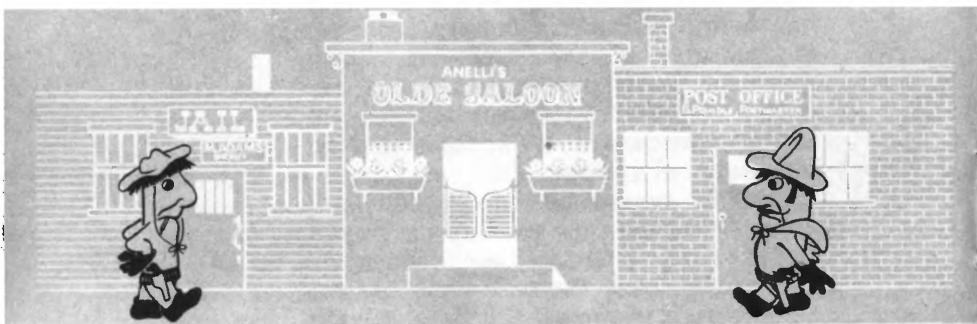
Начав с серии картинок, изображающих характерную цепочку событий, подлежащих анализу, мы введем на нескольких следующих страницах ряд условностей, которые позволят нам все больше и больше упрощать картинки, представляя при этом события все более и более удобным для изучения способом. В конце концов мы придем к схеме, описывающей последовательность событий в виде удивительно простой «карты» или графика, замечательное достоинство которого заключается в том, что на нем есть все важное для дальнейшего анализа и нет ничего лишнего. В последующем изложении такие чертежи будут выполняться для читателя столь же важную роль, как для инженера выполняют его «синьки» — рабочие чертежи.

Наша цель — разобраться в том своеобразном и стройном порядке, в котором события совершаются во времени и в пространстве.

Рассмотрим «выяснение отношений» между Диком Мертвым Глазом и Питом Пью на Центральной улице Змеяного города (Дик слева, Пит справа).

Ф и г. 1.

НАЧАЛО — — —



Ф и г. 2.



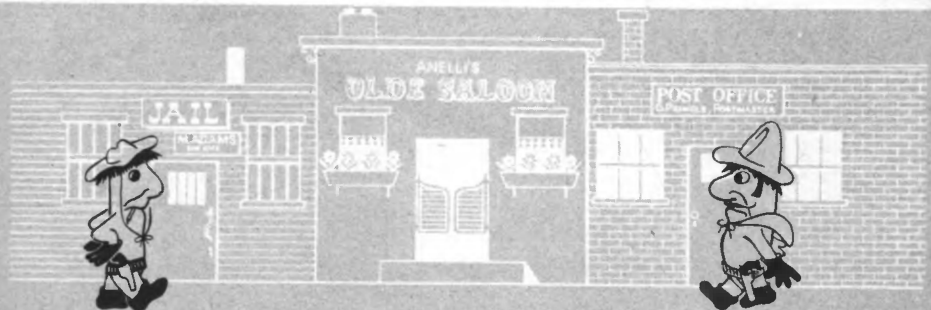
— — — КОНЕЦ

КАК ЭТО ПРОИЗОШЛО? (Крестиками помечены дырки от пуль.) «Так вот, — говорят свидетели, — Пит выхватил свой револьвер и выпалил в Дика, а Дик выхватил свой и выпалил в Пита. Оба попали, и каждый был убит пулей другого». Но кто стрелял первым? А может быть, оба начали стрельбу одновременно?

Может быть, Дик стрелял первым, а Пит — чуть позже. пока в него еще не попала пуля Дика?

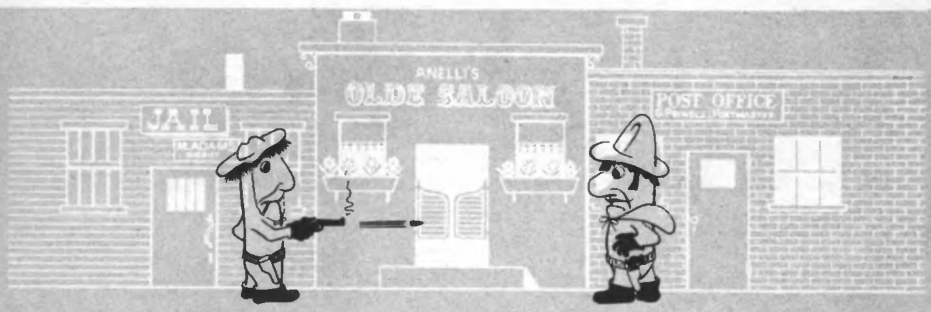
18

1 ↓ 2 ↓ 3 ↓ 4 ↓ 5 ↓ 6 ↓ 7 ↓ 8 ↓ 9 ↓
ПОЛДЕНЬ 12 ЧАС. 00 Ф и г. 3.



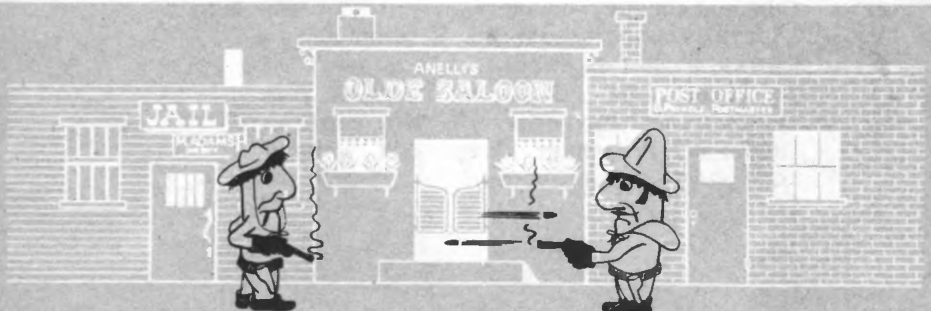
12 ЧАС. 01 СЕК.

Ф и г. 4.



12 ЧАС. 02 СЕК.

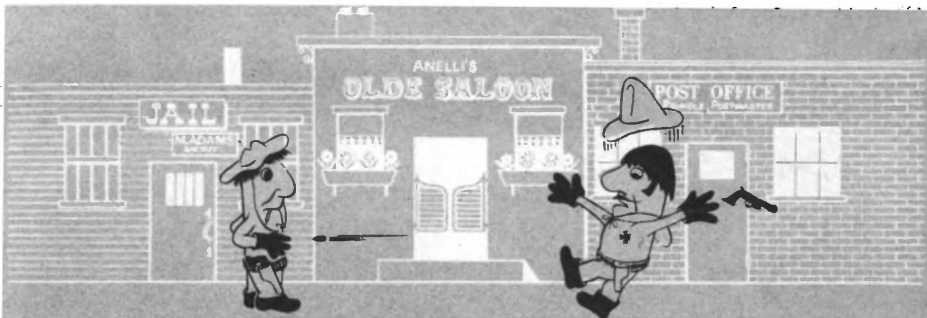
Ф и г. 5.



1 ↓ 2 ↓ 3 ↓ 4 ↓ 5 ↓ 6 ↓ 7 ↓ 8 ↓ 9 ↓

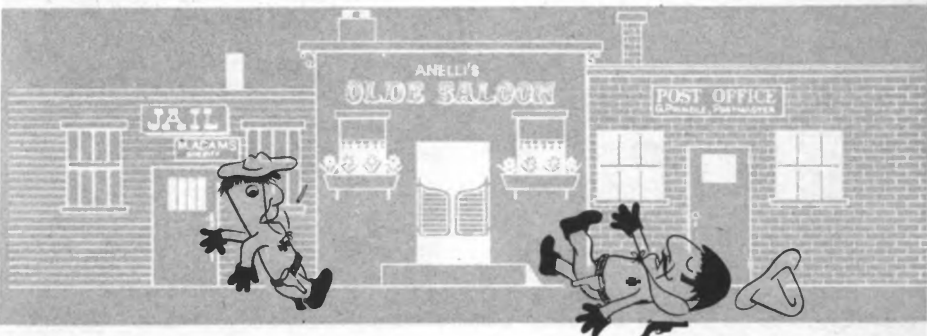
12 ЧАС. 03 СЕК.

Ф и г. 6.



12 ЧАС. 04 СЕК.

Ф и г. 7.



12 ЧАС. 05 СЕК.

Ф и г. 8.



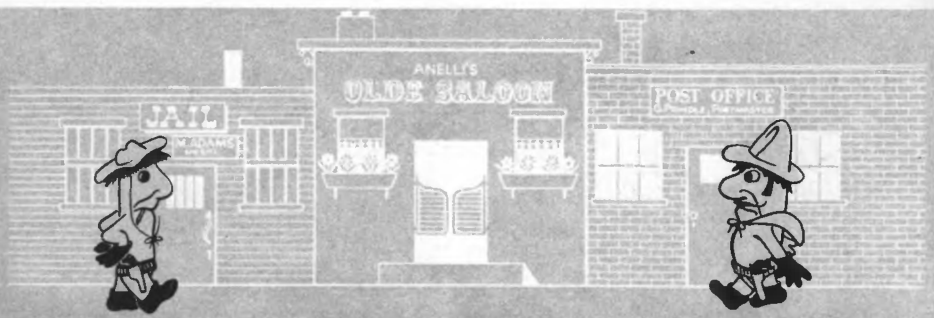
А может быть, первым стрелял Пит,
а потом Дик (прежде чем в него по-
па- ла пуля Пита)?

20

1 ↓ 2 ↓ 3 ↓ 4 ↓ 5 ↓ 6 ↓ 7 ↓ 8 ↓ 9 ↓

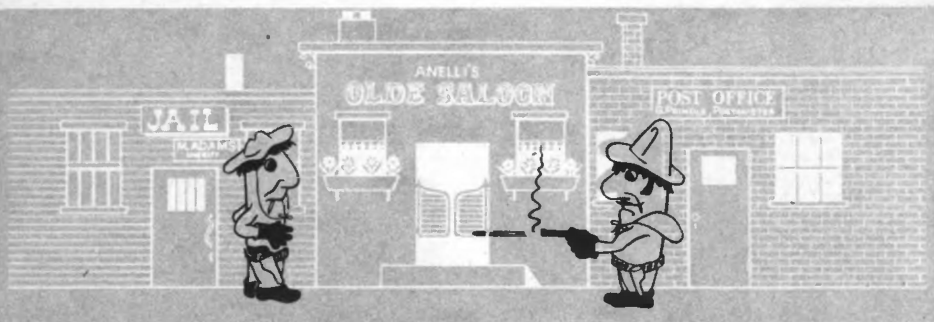
ПОЛДЕНЬ 12 ЧАС. 00

Ф и г. 9.



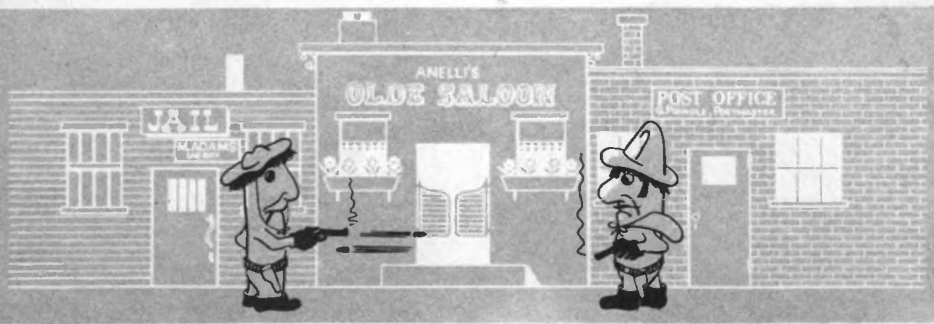
12 ЧАС. 01 СЕК.

Ф и г. 10.



12 ЧАС. 02 СЕК.

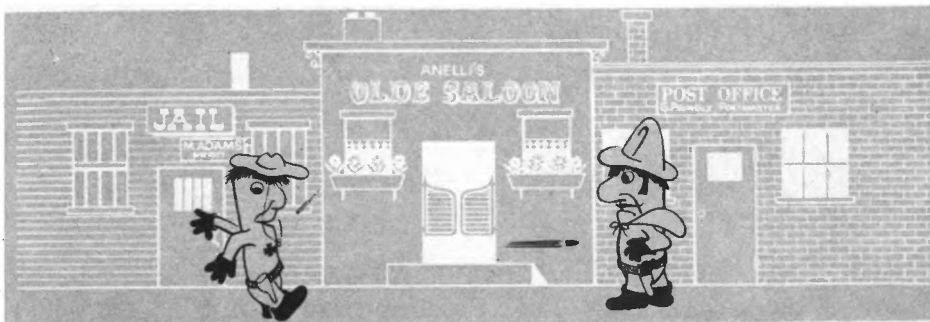
Ф и г. 11.



1 ↓ 2 ↓ 3 ↓ 4 ↓ 5 ↓ 6 ↓ 7 ↓ 8 ↓ 9 ↓

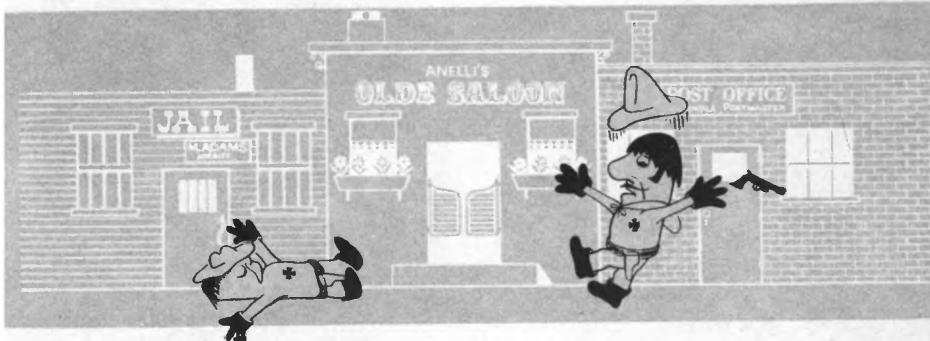
12 ЧАС. 03 СЕК.

Ф и г. 12.



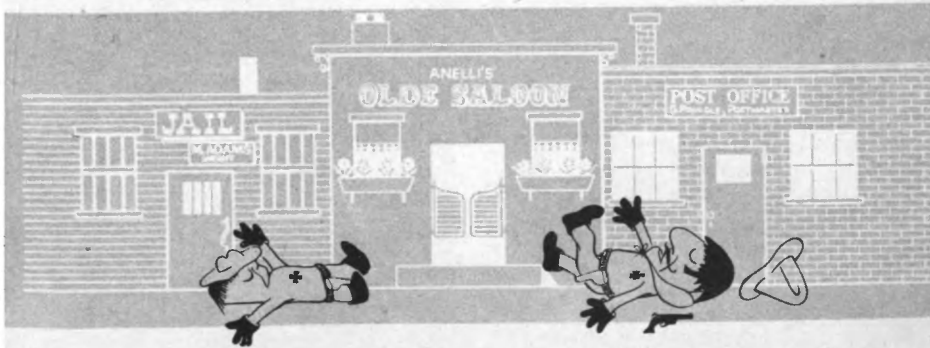
12 ЧАС. 04 СЕК.

Ф и г. 13.



12 ЧАС. 05 СЕК.

Ф и г. 14.



Или, наконец, Дик и Пит стреляли
одновременно?

22

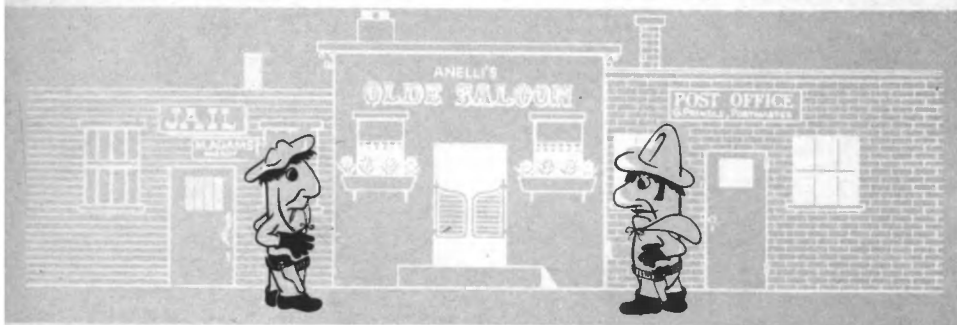
1 ↓ 2 ↓ 3 ↓ 4 ↓ 5 ↓ 6 ↓ 7 ↓ 8 ↓ 9 ↓
ПОЛДЕНЬ 12 ЧАС. 00

Ф и г. 15.



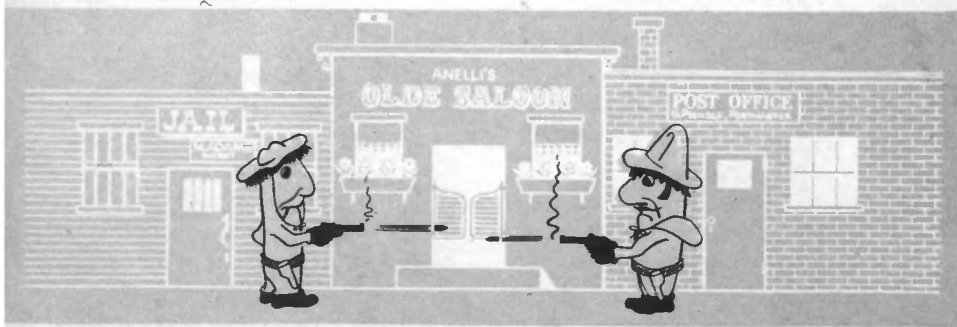
12 ЧАС. 01 СЕК.

Ф и г. 16.



12 ЧАС. 02 СЕК.

Ф и г. 17.



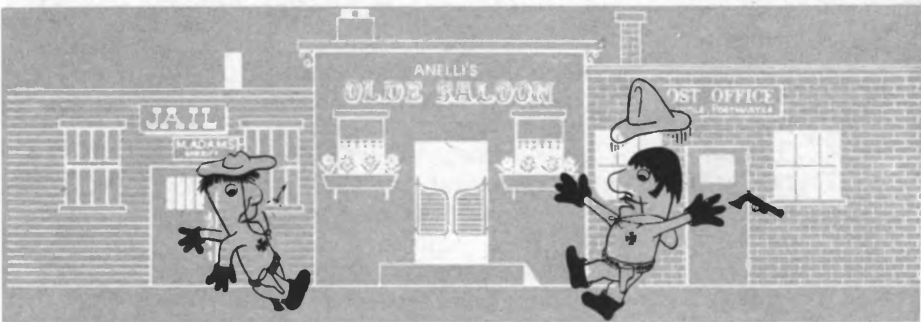
2
↓
3
↓
4
↓
12 ЧАС. 03 СЕК.

5
↓
6
↓
7
↓
8
↓
9
↓
Ф и г. 18.



12 ЧАС. 04 СЕК.

Ф и г. 19.



12 ЧАС. 05 СЕК.

Ф и г. 20.

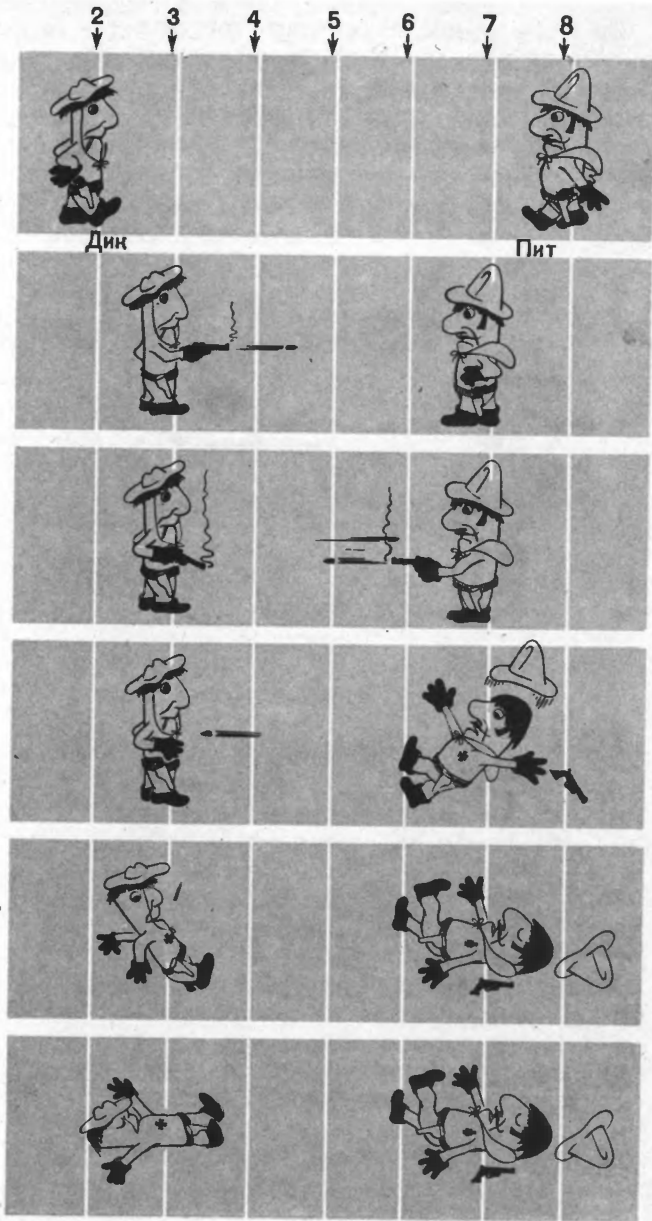


Определить, какой из этих вариантов действительно правилен, можно лишь путем тщательных наблюдений и измерений. Маленькая драма, разыгравшаяся между Питом и Диком, состоит из множества отдельных событий. Вот некоторые из них: Дик стреляет из своего револьвера, Пит стреляет из своего, пуля попадает в Пита, пуля попадает в Дика. Но произошли и другие события. Например, пуля Дика пролетела полпути по направлению к Питу (находится против двери салуна, точка 5); пуля Пита пролетела три четверти пути к Дикю (минует левое окно салуна, точка 4) и т. п. Какое событие произошло *до*, какое *после*, какие из них совпали по времени с каким-то отдельным событием? Это можно узнать лишь после тщательных наблюдений и измерений.

Поскольку мы должны проанализировать множество случаев, подобных тому, что произошел между Питом и Диком, то необходимо выработать такую систему записи наблюдений и измерений, которая избавила бы нас от нагромождения всех подобных картинок, изображающих все последовательные моменты времени (вместе эти картинки полностью представляли бы ход всей баталии).

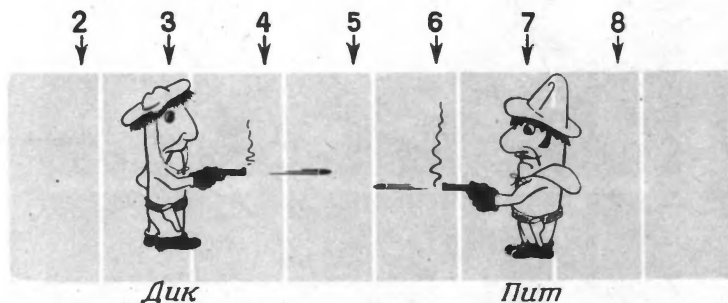
С этой целью мы внесем ряд упрощений в самый способ рисования картинок.

Прежде всего не будем возиться с изображением заднего плана, а просто пометим положения важных пунктов вертикальными линиями.



Во-вторых, поскольку все действие происходит вдоль Центральной улицы Змеиного города, то не будем заботиться о высоте предметов над землей, изображая их просто левее или правее вдоль улицы. Это значит, что вместо рисунка

Ф и г. 22.



мы будем рисовать просто

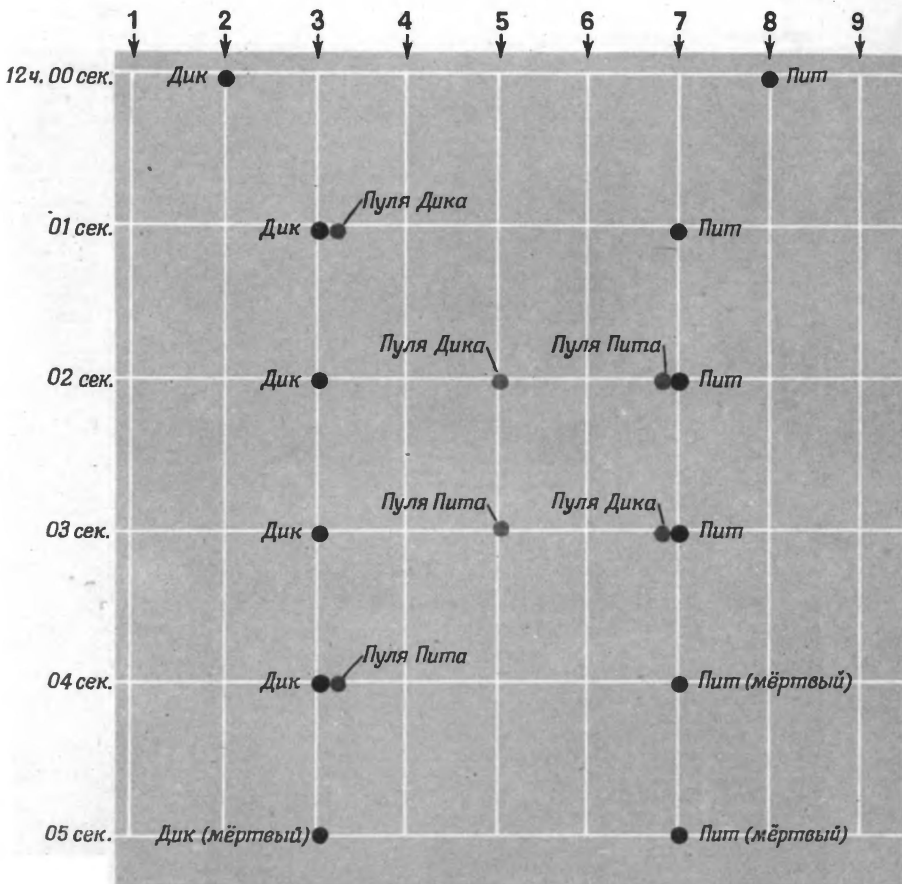


Пользуясь такими упрощенными рисунками (что мы будем всегда делать в дальнейшем), мы сознательно забываем, что события происходят на какой-то определенной высоте над уровнем земли и несколькими шагами ближе или дальше от нас, а не только «правее или левее» вдоль Центральной улицы. Иными словами, мы *умышленно забываем, что пространство в действительности трехмерно и ради простоты графического описания событий ограничиваемся* ОДНОМЕРНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ. Пусть и дальше

все рассматриваемые события происходят на «улице», или на «дороге», или вдоль «железнодорожного полотна» на определенное число метров левее или правее какой-то средней точки. От такого упрощения мы не теряем ничего, а выигрываем многое. Однако читатель должен *обязательно помнить о принятых упрощениях, иначе возможны ошибки.*

Упрощенный метод позволяет изобразить весь ряд событий, показанных на фиг. 21, в виде

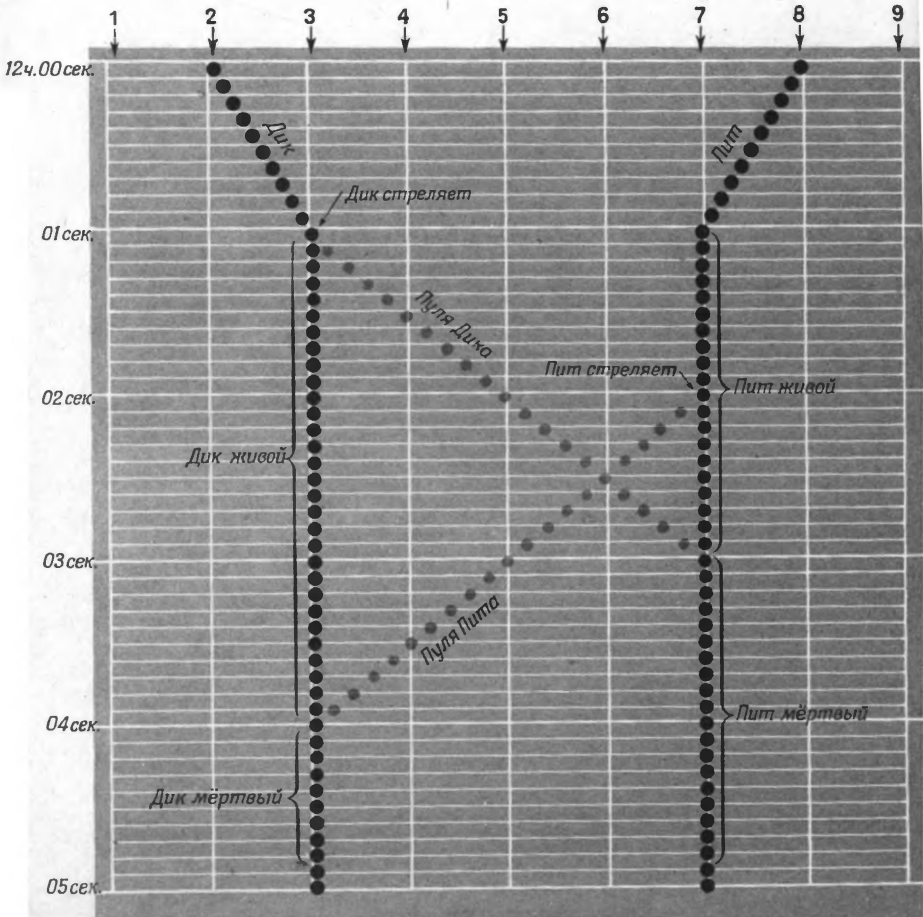
Ф и г. 23.



При нашем упрощенном способе на чертеж помещаются уже не только ситуации, складывающиеся по прошествии каждой секунды, но и ситуации через доли секунды. При этом многие из надписей, приведенных на фиг. 23, оказываются излишними.

Поскольку умение свободно «читать» схемы, вроде приведенной на фиг. 24, совершенно необходимо для понимания следующих разделов книги, то не вредно сделать передышку и поразмыслить над этим рисунком.

Ф и г. 24.



Прежде всего заметим, что каждая горизонтальная линия изображает какой-нибудь один момент времени (отдельную картинку комической серии или один кадр киноленты), а точки, лежащие на ней, изображают расположение всего множества объектов в этот момент. Например, из фиг. 24 видно, что через 2,4 сек после полудня Дик стоял против правого окна тюрьмы (точка 3), пуля Дика находилась чуть левее правого окна салуна (точка 6), пуля Пита была немного правее этого же окна и, наконец, Пит стоял против левого окна почты (точка 7). Мы видим, что фиг. 24 изображает ту же последовательность событий, что и фиг. 23 или фиг. 3—8. Этот рисунок не так подробен, как фиг. 3—8, в том смысле, что на нем меньше деталей заднего плана, но зато он более точно изображает ход событий: на нем видны не только ситуации через 1, 2, 3 и т. д. секунды после полудня, но и через 1,1, 1,2, 1,3 и т. д. секунды. Другими словами, фиг. 24 позволяет, отбросив несущественные детали, учесть важные подробности и во всех деталях описать тот последовательный порядок событий, в котором они произошли в пространстве и во времени.

Полезно особо подчеркнуть ряд характерных свойств схемы, приведенной на фиг. 24. В течение того промежутка времени, когда объект не двигался, он изображается на этой схеме вертикальной цепочкой точек. Например, с 12 час 1 сек Дик неизменно стоял против правого окна тюрьмы (точка 3). Точки, изображающие его положение через каждую $\frac{1}{10}$ сек,

лежат одна под другой на вертикали, которая отмечает все события, происходящие против правого окна тюрьмы (точка 3). Поэтому такие точки выстраиваются вдоль вертикальной линии. Наоборот, в периоды своего движения всякий предмет изображается на схеме последовательностью точек, образующих наклонную линию. Например, в 12 час 2 сек пуля только что выстрелившего Пита находилась против левого окна почты (точка 7). Спустя $\frac{1}{10}$ долю секунды она прошла $\frac{1}{5}$ часть расстояния в сторону правого окна салуна (точка 6); спустя еще $\frac{5}{10}$ сек она достигла этого окна и т. д. Точки, отмечающие последовательные положения этой пули через каждую $\frac{1}{10}$ сек, ложатся, как мы видим, не на вертикальную, а на наклонную линию.

Схема на фиг. 24 последовательно изображает, как в интервале между полуднем и 12 час 1 сек Дик идет вправо, а Пит влево (навстречу друг другу); затем оба останавливаются, Дик стреляет, а в 12 час 2 сек стреляет Пит; пули Дика и Пита минуют одна другую в 12 час 2,5 сек и т. д. Читатель должен внимательно разобраться в схеме, приведенной на фиг. 24, и непременно уяснить себе, как отражаются на ней все упомянутые сейчас факты. Было бы бесполезно двигаться дальше, не добившись полной ясности и свободного умения читать такие схемы.

Положение предмета в любой данный момент времени вполне естественно изображается на схемах отдельной точкой. Но каждая точка схемы дает сразу и время, и положение в (одномерном) пространстве какого-то одно-

го события. Положение события в (одномерном) пространстве решает, насколько именно правее или левее ляжет соответствующая ему точка на схеме; время, когда это событие произошло, определяет высоту соответствующей точки на нашей схеме. Но схема изображает множество последовательных моментов времени, поэтому соответствующие последовательные положения предмета складываются в цепочку точек.

Такая последовательность точек, показывающая положение данного предмета в различные моменты времени, образует «дорожку» на нашей схеме — ее можно было бы, правда, чисто образно, назвать «траекторией во времени», прочерчиваемой этим предметом. Такие «траектории» можно сопоставить как движущимся, так и покоящимся предметам; «траектории» покоящихся предметов вертикальны, а «траектории» движущихся — наклонены. Читатель не должен смешивать это образное название «траектории» на схеме событий во времени и в пространстве с обычным понятием траектории в пространстве. В дальнейшем мы будем часто говорить о «мировой линии»¹ предмета, имея в виду «дорожку» на схеме, изображающей последовательные положения предмета в большое число последовательных моментов времени. Читатель, предупрежденный заранее, конечно, будет понимать нас правильно.

¹ Этим широко принятым в литературе названием мы заменили употребляемое автором слово «путь» или «траектория» (path). — *Прим. перев.*

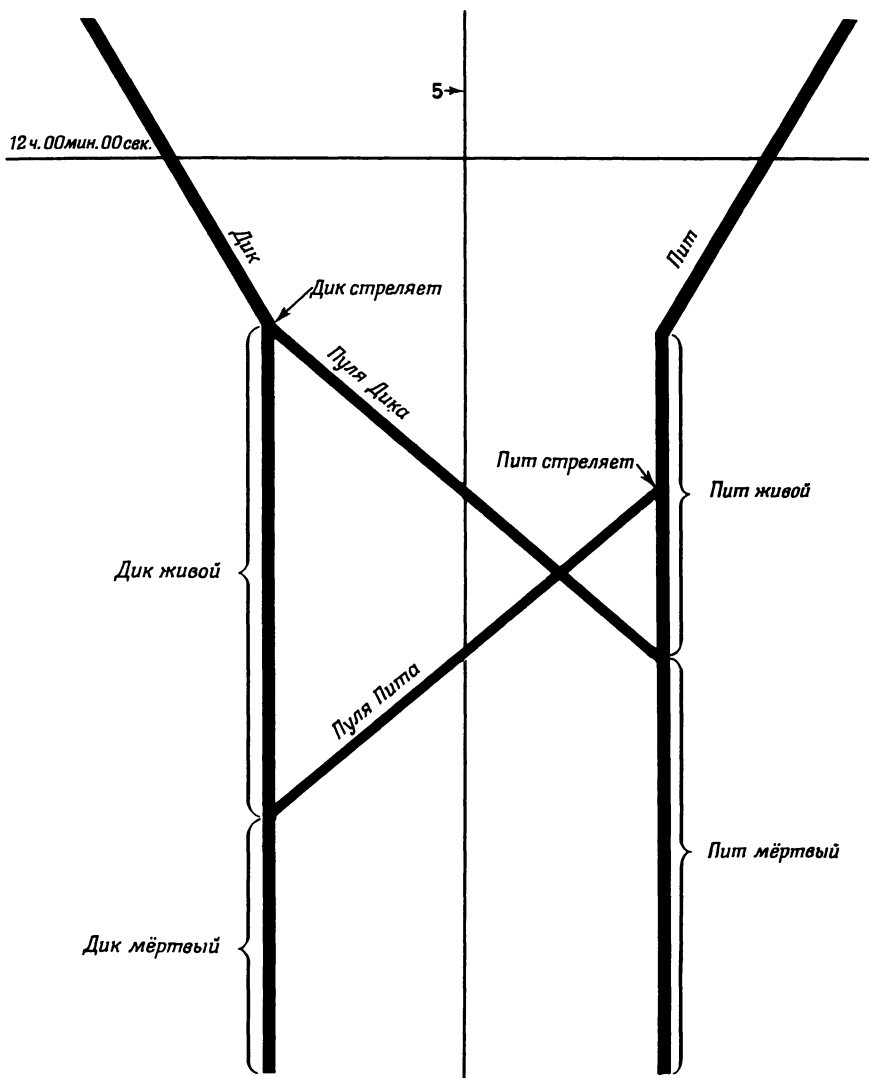
Заметим, что все события, которые, как мы считаем, произошли одновременно, мы помещаем на одну и ту же горизонтальную прямую, а все события, случившиеся, по нашему мнению, в одном и том же месте, — на одну и ту же вертикальную прямую. Запомнив это, мы сразу поймем, что горизонтальные и вертикальные прямые на нашем графике служат просто метками, которые можно и отбросить, оставив лишь несколько из них для ориентировки. Более того, вместо цепочки все теснее и теснее лежащих точек, изображающих, скажем, очередные положения пули Пита в последовательные моменты времени (сначала через каждую $\frac{1}{10}$ сек, потом для подробности через $\frac{1}{100}$ сек и т. д.), проще и вразумительнее предоставить все уплотняющимся цепочкам точек «налезть» друг на друга. Получится просто сплошная линия, изображающая положения пули Пита во все моменты времени вообще. В результате этой новой рационализации наша схема примет вид, показанный на фиг. 25.

Именно так мы будем рисовать теперь свои «мультифильмы». Хорошо бы сейчас вернуться к фиг. 3—8, 21, 23, 24, 25, чтобы проследить, как эти кадры получались один из другого, — и убедиться, что смысл их, как и весь использованный метод упрощения, вполне ясен.

Особенно важно разобраться в том, как читать схемы типа фиг. 24. Схема, приведенная на фиг. 25, читается совершенно так же — просто на фиг. 24 положения предметов показаны лишь через каждую $\frac{1}{10}$ сек, а на фиг. 25 можно найти ситуацию, скажем, через 2,15 сек

или через 2,1583 сек после полудня. Прежде чем идти дальше, читатель должен обязательно убедиться, что он умеет разбирать схемы вроде фиг. 25 и точно понимает, как все фиг. 3—8, 21, 23, 24, 25 схематически описывают один и тот же ряд событий, хотя и в разной графической форме.

Ф и г. 25.



Особенно важно заметить, что наши схемы изображают сразу всю историю событий — во все моменты времени, а также что «траектории» предметов, вычерченные на такой схеме, показывают положения этих предметов во все отдельные моменты времени, как объяснялось на стр. 31.

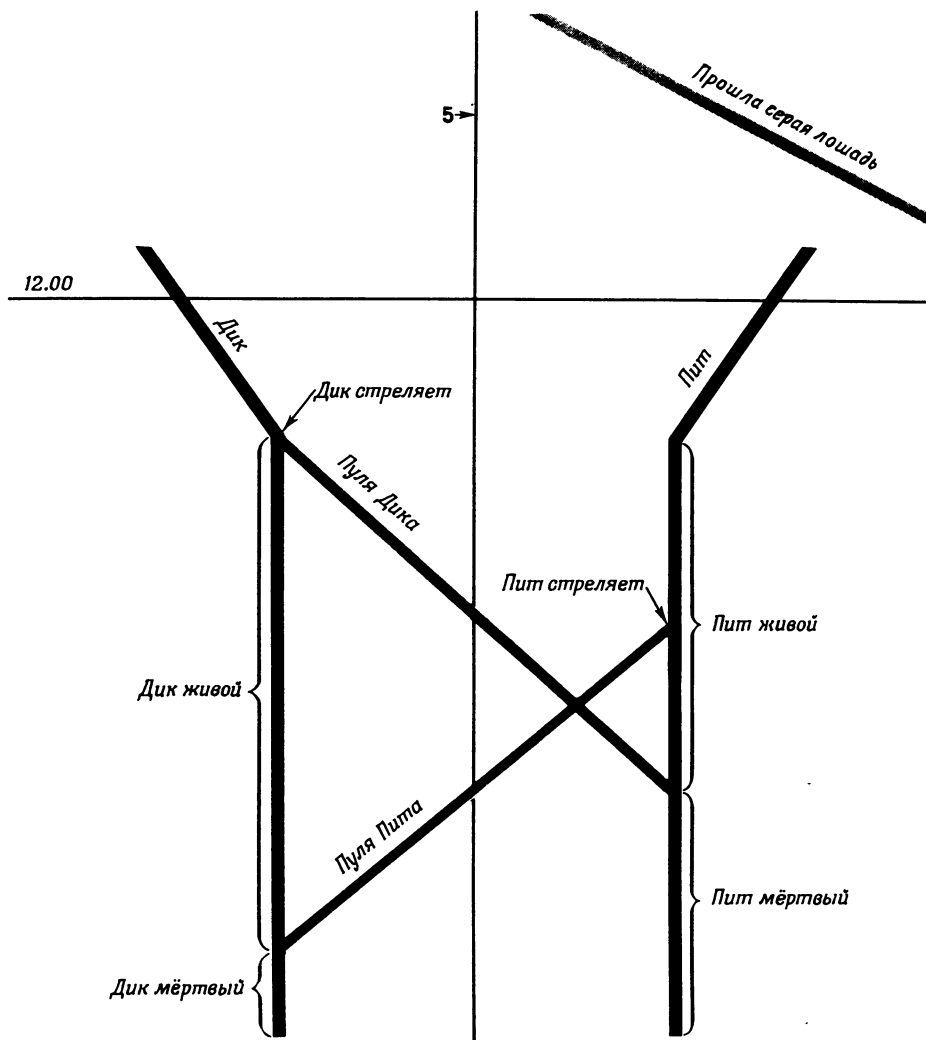
ВНИМАНИЕ!

Пользуясь все время двумерными схемами, читатель не должен забывать, что изображенные там предметы движутся, как поезда по железнодорожной колее, лишь в *одном* измерении. Двумерными эти схемы оказываются только из-за дополнительного измерения, служащего для изображения тех моментов *времени*, когда события происходят в нашем *одномерном* пространстве. На такой схеме пуля Дика движется в одном измерении, слева направо, а вовсе не по наклонной линии в двух измерениях чертежа. Совершенно аналогично, киноактриса, когда она идет слева направо, представляется на киноленте рядом кадров, на которых ее изображения расположены по наклонной линии вдоль всей ленты. Но ведь актриса на самом деле движется вовсе не по диагонали от одного угла к другому углу киноленты, а просто с какой-то скоростью идет слева направо перед кинокамерой.

Если угодно, можно было бы начать наш «гангстерский» мультфильм еще до полудня (12.00), чтобы иметь

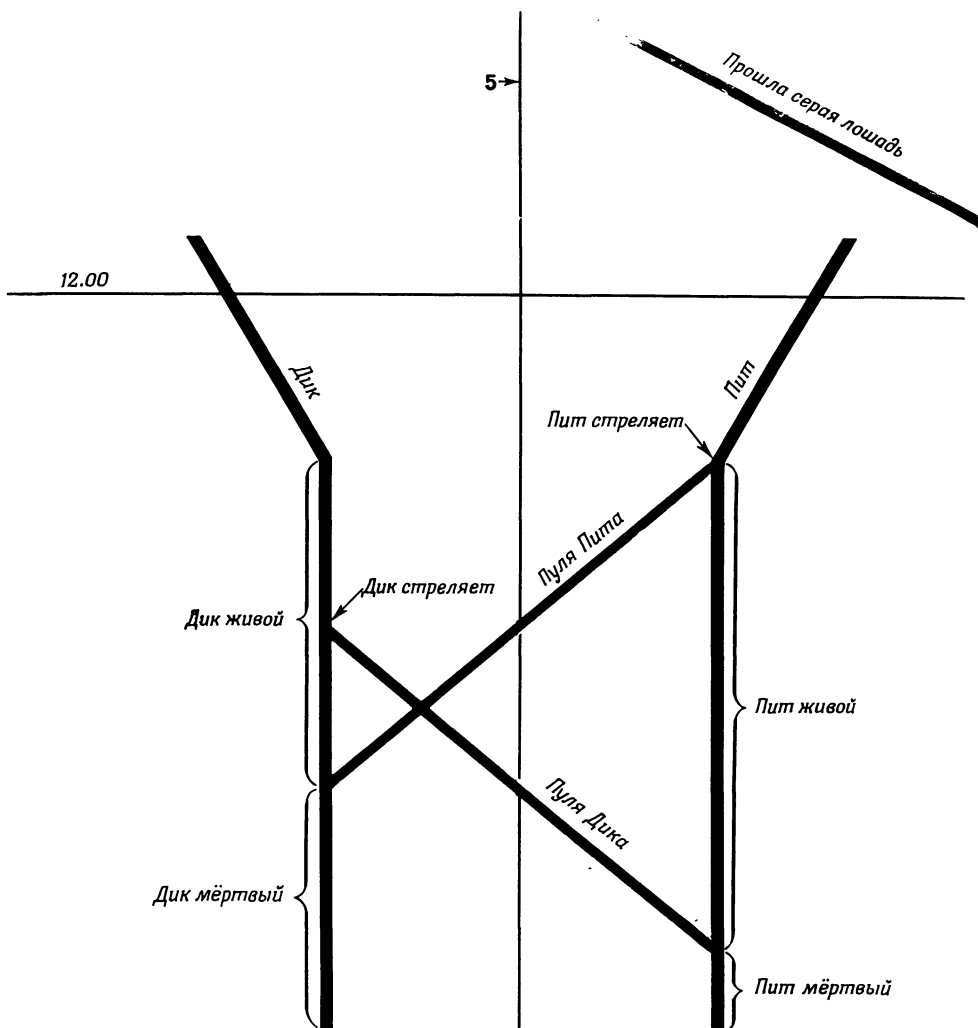
возможность показать и предыдущие происшествия. (Пусть, например, перед самым появлением в кадре Пита и Дика там проходила серая лошадь; мы не видели ее прежде на схемах только потому, что вообще не показывали предыдущих событий.)

Ф и г. 26.



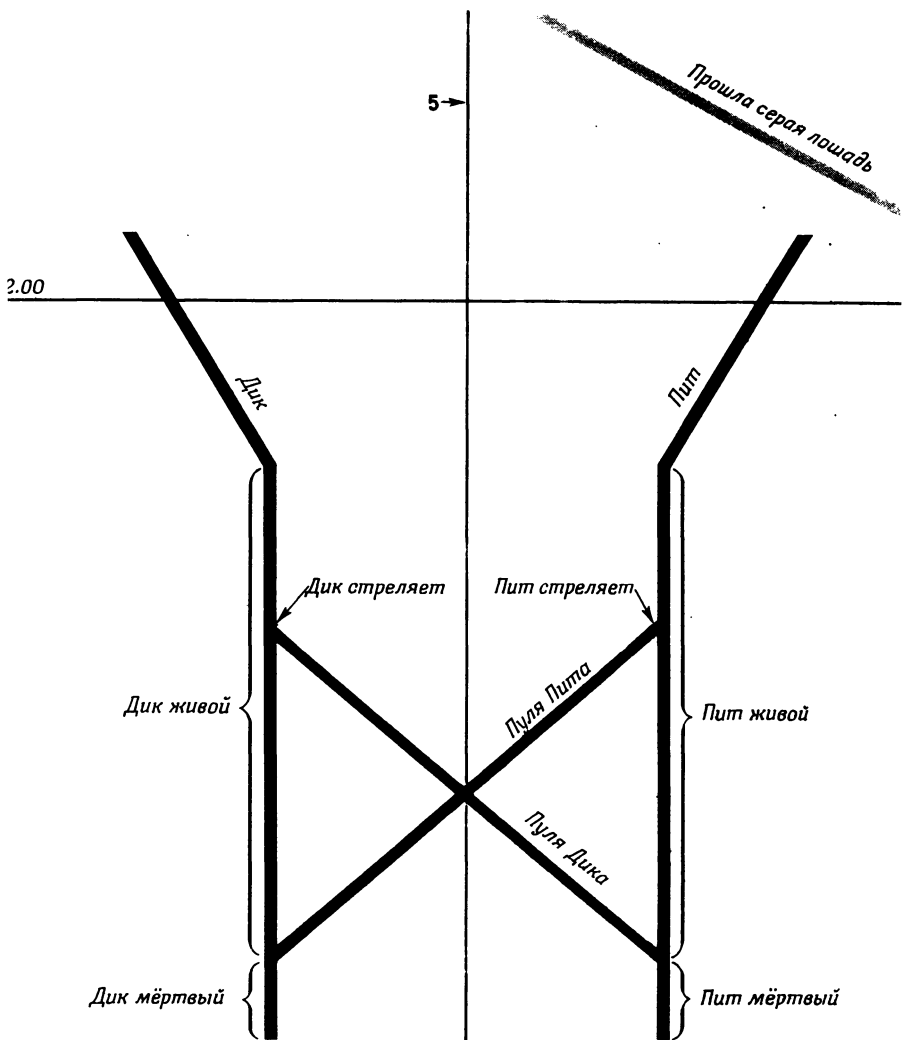
История, показанная на предыдущей схеме, изображена правильно, только если Дик действительно выстрелил первым. Если же первым стрелял Пит, то схема должна выглядеть так:

Ф и г. 27.



Если же они оба выстрелили одновременно, то схема примет вид

Ф и г. 28.



Три схемы (фиг. 26—28) изображают все те же события, о которых рассказывали картинки (фиг. 3—8, 9—14 и 15—20 соответственно).

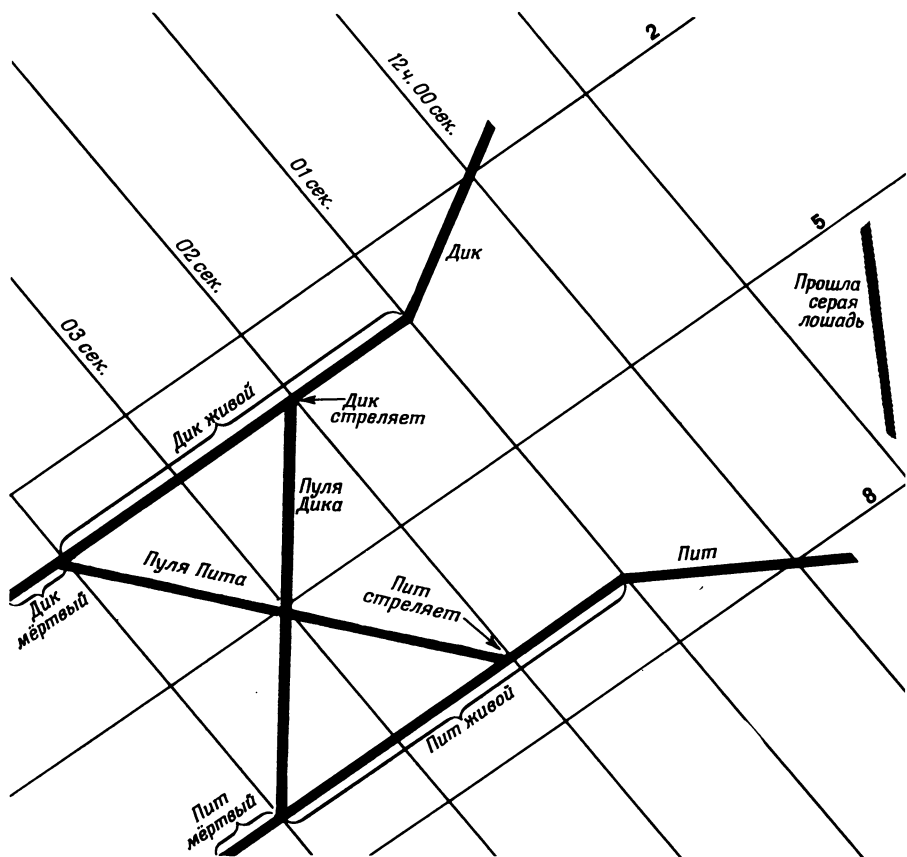
Читатель должен проверить, что он действительно понимает, каким образом в этих трех схемах заключена вся та же информация, которая была и в картинках. В последующих исследованиях мы будем постоянно пользоваться схемами наподобие фиг. 26, 27 или 28, так что совершенно необходимо во что бы то ни стало добиться умения свободно читать эти схемы.

На последних рисунках последовательность событий изображена самым простым способом: мы поместили на одной и той же вертикальной прямой все события, происшедшие, по нашему мнению, в одном и том же месте пространства, а на одной и той же горизонтали — все события, являющиеся, по нашему мнению, одновременными.

Это условие, однако, не более чем произвольное соглашение; с тем же успехом мы могли бы расположить все события, случившиеся, с нашей точки зрения, в одном и том же месте, по линии, наклоненной вправо от вертикали на 40 град, в то время как все одновременные, по нашему мнению, события — по прямой, идущей вниз от горизонтали под углом 35 град.

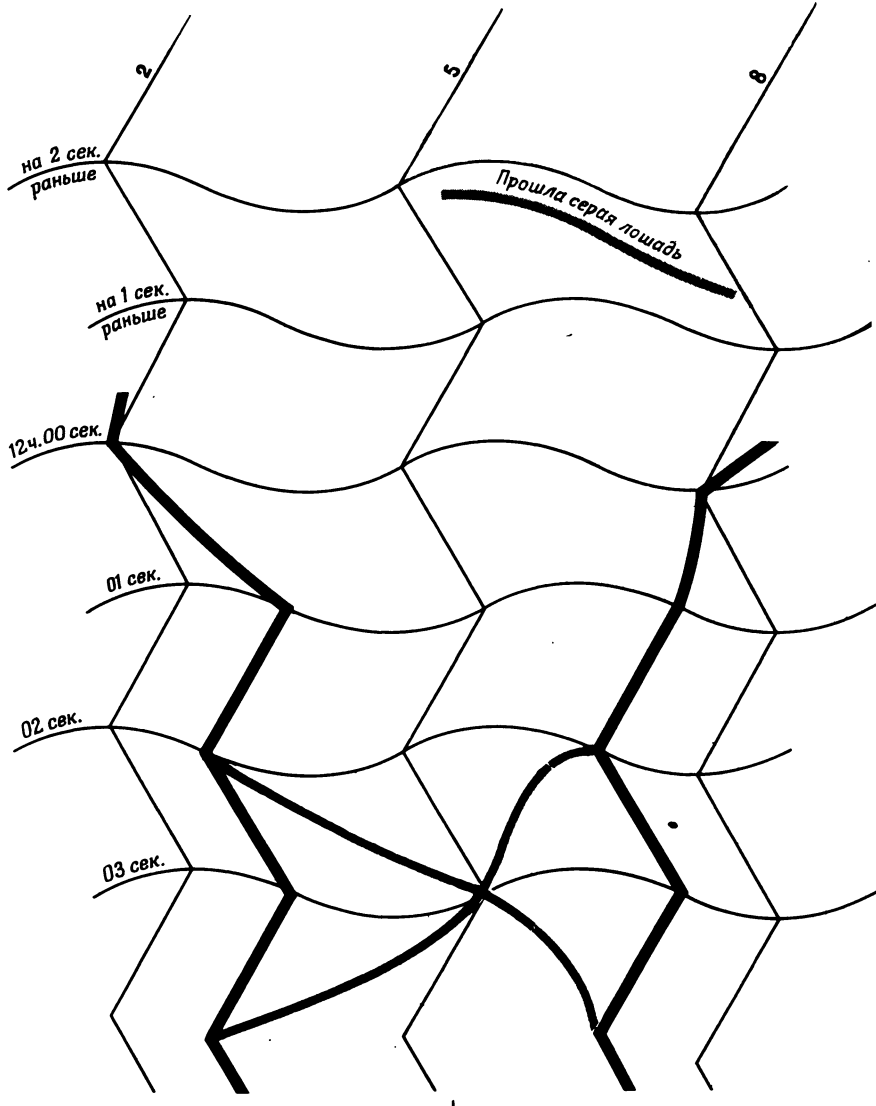
Тогда изображенная на фиг. 28 последовательность событий приняла бы следующий вид:

Ф и г. 29.



Схемы вроде фиг. 29, где за основу берутся наклонные линии вместо горизонтальных и вертикальных, как в предыдущих схемах, совершенно равноценны этим схемам с вертикальными и горизонтальными линиями, однако ими уже не так удобно пользоваться. Просто они читаются несколько иначе. Это различие так же несущественно и является следствием принятых нами условий, как обычай писать по-английски слева направо, по-китайски — сверху вниз, а по-еврейски — справа налево. Таким образом, следуя наклонной линии на фиг. 29, соединяющей все события, происшедшие через 3 сек после полудня, мы видим, что в этот момент Дик стоял против правого окна тюрьмы (точка 3), пули Дика и Пита пролетали мимо друга друга возле двери салуна (точка 5), а Пит стоял против левого окна почты (точка 7). Точно те же сведения содержатся и на фиг. 28, и разница только в том, что «считывать» их нужно вдоль горизонтальной линии, которая на этой схеме соединяет все события, происшедшие через 3 сек пополудни.

Если бы нам почему-то понадобилось рисовать все события, происходящие, по нашему мнению, в одном и том же месте, на пилообразной линии, а все одновременно происшедшие события — на волновой линии, мы могли бы сделать и так. Тогда мы изобразили бы ту же последовательность событий, что и на фиг. 28 и 29, в виде



Ф и г. 30.

Эта схема совершенно равноценна фиг. 28 и 29. В самом деле, следуя на этой схеме по волновой линии, соединяющей все события, случившиеся в 12 час 3 сек, мы видим, что в это время Дик стоял против правого окна

тюрьмы (точка 3), пули Дика и Пита пролетали мимо друг друга возле двери салуна (точка 5), а Пит стоял против левого окна почты (точка 7). Иначе говоря, мы узнали бы то же самое, что и из предыдущих схем, только каждый раз это изображалось бы по-иному.

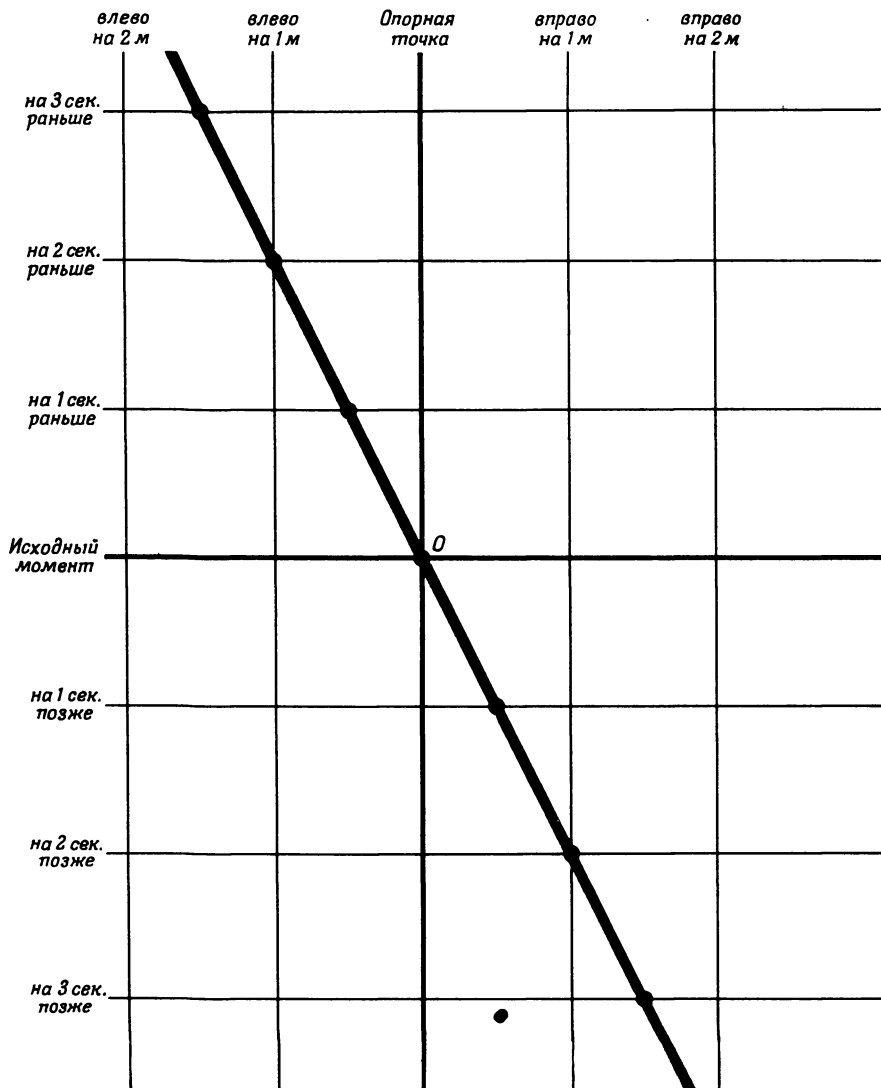
Конечно, *можно* изображать последовательность событий, как на фиг. 30, но делать это все-таки не стоит, потому что тогда легко запутаться. Точнее говоря, мы не склонны пользоваться этим способом по той же самой причине, которой руководствовались уже раньше при выборе способа количественно находить положения событий во времени и пространстве: мы требуем, чтобы наше количественное представление о времени и наше количественное представление о пространстве соответствовали самому простому описанию сразу многих явлений природы. Добившись этого, можно сказать, что нам удалось удачно выбрать такие представления о пространстве и времени, что они успешно помогают нам понять природу физического мира.

Какое явление природы можно изобразить проще всего? Одно из простейших — это движение частицы, на которую не действуют никакие силы. Такое движение изолированной частицы протекает по хорошо известному закону инерции (который называют еще Первым законом Ньютона):

Если на тело не действуют никакие внешние силы, то оно сохраняет сколь угодно долго одну и ту же скорость и постоянное направление своего движения — те же самые, какие оно имело первоначально.

Значит, если изолированная частица ушла вправо на 0,5 м за первую секунду наблюдения, то за следующую секунду она продвинется вправо еще на 0,5 м и настолько же за третью, четвертую и за все по отдельности последующие секунды. График ее движения будет особенно простым:

Ф и г. 31.



Заметим, что на фиг. 31 положения частицы в последовательные моменты времени изображены точками, лежащими на одной прямой. Это объясняется равномерностью движения частицы, т. е. тем обстоятельством, что ее скорость не изменяется. За каждую секунду частица проходит 0,5 м; на нашей схеме при сдвиге вниз на одно деление частица уходит вправо на $\frac{1}{2}$ деления от своего первоначального положения. Если бы движение частицы было ускоренным, а не равномерным, то ее положение в последовательные моменты времени изображалось бы точками, лежащими на кривой линии. *Равномерное движение* описывается на наших схемах наклонной прямой линией; *отсутствие движения* (состояние покоя) — вертикальной прямой, а *переменное* (ускоренное) *движение* — кривой.

Эти свойства графиков очень удобны; дело в том, что мы будем говорить дальше только о равномерном движении и, следовательно, иметь дело только с прямыми линиями, т. е. с самым простым геометрическим образом.

[НАПОМНИМ снова читателю, что и та частица, ряд положений которой изображен на предыдущей схеме, движется, как все рассматриваемые нами предметы, в одном измерении; в данном случае — слева направо. Наклон прямой линии на схеме, с помощью которой мы изображаем положение частицы в последовательные моменты времени, зависит от скорости ее движения, и чем больше эта скорость, тем сильнее будет наклонена прямая. Никогда нельзя забывать, что эта час-

тица движется *слева направо* в одном измерении с той или иной скоростью, а вовсе не вдоль наклонной прямой на нашей двумерной схеме. Дело в том, что дополнительное (вертикальное) измерение на этой схеме отражает просто тот факт, что последовательные положения частицы изображены сразу во множество моментов времени.]

Мы вычертили фиг. 31, условившись, что все события, происходящие, по нашему мнению, в одном и том же месте, лежат на схеме на одной и той же вертикальной прямой, а все события, о которых известно, что они произошли одновременно, лежат на одной и той же горизонтальной прямой. Такой способ изображения ряда событий очень удобен: например, равномерное движение частицы, на которую не влияют никакие внешние воздействия, изображается просто прямой линией. Если бы вместо этого мы воспользовались неудобным способом, показанным на фиг. 30, то такое движение изображалось бы сложной кривой.

Поэтому ясно, как удачно и правильно мы выбрали и самые основные представления о пространстве и времени. Свободная от всех внешних воздействий частица проходит одинаковое число метров за каждую секунду. Если бы мы выбрали неподходящий способ описания времени и пространства, то нам казалось бы, что частица проходит в одни секунды больший путь, а в другие — меньший. Такое усложненное описание этого самого простого движения соответствовало бы просто-напросто впечатлениям чело-

века, у которого неправильно идут часы или который пользуется в своих измерениях неравномерно разбитой на деления линейкой. Такому человеку пришлось бы вместо замечательно простого закона Ньютона, приведенного на стр. 42, говорить о непонятно сложном явлении, когда в отдельные «секунды» (определенные с помощью его неисправных часов или других неподходящих способов измерения времени) изолированная частица проходит большие, а в другие «секунды» меньшие расстояния. Мы можем быть уверены в том, что наш способ определения положений в пространстве и моментов времени *правильный*, а способ человека с неисправными часами *ошибочный*, именно потому, что мы получили простой закон движения для изолированной частицы, тогда как тот человек смог бы получить лишь какой-то сложный «закон». Если этот человек мыслит здраво, то мы можем, высказав ему именно эти соображения, даже заставить его признать свою ошибку.

Закон движения, приведенный на стр. 42, связан с другим, еще более всеобъемлющим законом, действие которого нам много раз приходилось испытывать на себе, хотя мы, возможно, и не отдавали себе в этом отчета. Путешествуя на автомашине, корабле, самолете или в вагоне поезда, мы вообще не ощущаем движения, когда оно достаточно плавное (без «ям» и толчков). Все законы физики, к которым мы привыкли «стоя на месте», работают точно так же, когда мы движемся равномерно: находясь на равномерно

движущемся транспорте, мы можем ходить, стоять, сидеть, бросать и ловить предметы и т. д. совершенно так же, как если бы вообще не двигались ни мы, ни наш экипаж. Конечно, дело совершенно меняется, когда транспорт движется неравномерно и изменяет свою скорость, например трогается или тормозит. Тогда мы отчетливо чувствуем это изменение движения и должны принять соответствующие меры, чтобы не упасть вперед или назад и т. д. При очень резком торможении изменение движения может быть столь сильным, что приведет к аварии. Однако пока наш экипаж движется равномерно, мы ничего не чувствуем. Этот привычный факт называется *ЗАКОНОМ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ* и может быть выражен следующим образом:

Для наблюдателя, находящегося в состоянии равномерного движения¹, все законы физики выполняются совершенно так же, как и для покоящегося наблюдателя.

Вследствие этого закона не имеет особого смысла говорить о каком-то наблюдателе как об «истинно» покоящемся, а о другом — как об «истинно» равномерно движущемся. Впечатления обоих этих наблюдателей будут в точности соответствовать одно другому, и оба они найдут, что в природе действуют одни и те же физические законы. Не существует такого способа, с помощью которого

¹ Точнее, следует говорить о равномерном прямолинейном движении. — *Прим. перев.*

го один из них почувствовал бы свое движение в большей степени, чем другой, и не существует вообще способа доказать или убедиться, что ты на самом деле движешься или на самом деле покоишься. И каждый наблюдатель, движущийся равномерно, поэтому волен считать, не опасаясь ошибиться (но, конечно, только чисто условно), что именно он покоится, в то время как другой наблюдатель движется мимо него.

Конечно, если наблюдатель движется не равномерно, а с переменной скоростью, то дело совсем изменится. Человек, переживший автомобильную катастрофу, на короткое время испытал ощущения, совершенно незнакомые ни покоящемуся, ни равномерно движущемуся наблюдателю. Он, не колеблясь, согласится, что его движение действительно изменялось, так как, по его мнению, ветровое стекло автомашины внезапно ударило ему в лицо. То же самое относится и к пешеходу, на которого налетела автомашина: он скажет, что его движение также не было равномерным, а изменилось от полученного толчка. Значит, если равномерное движение, согласно Закону относительности, не дает себя почувствовать, то толчки (ускорение), безусловно, дают о себе знать.

Все эти факты известны уже сотни лет. Их ясно выразил еще Галилей, написавший в 1630 г. свои *«Диалоги о Двух Главнейших системах Мира»*¹, в которых он сталкивает сторонника теории покоящейся Земли со сторонником теории,

¹ См. русский перевод, изданный в 1948 г. Государственным издательством технико-теоретической литературы, Москва — *Прим. перев.*

согласно которой Земля движется. Он писал:

49

«...Все утверждают, будто решающим доводом в пользу неподвижности Земли является факт свободного падения тяжелых тел вниз, по перпендикуляру к поверхности Земли. Говорят, что в противном случае за тот срок, который нужен камню для падения с вершины башни, вращение Земли отнесло бы эту башню к востоку на много сажений, и именно на таком расстоянии от основания башни камень достиг бы почвы. Этот довод они подкрепляют еще таким мысленным опытом: уроните свинцовое ядро с корзины на мачте корабля, стоящего на якоре... Если такое же ядро упадет с этой мачты, когда корабль будет находиться в плавании, то ядро будет отнесено от своего прежнего места падения ровно настолько, насколько ушел корабль за время, потребовавшееся ядру, чтобы упасть... Они добавляют к этому еще третий, кажущийся весьма очевидным опыт, а именно что при выстреле из пушки в горизонтальном направлении на восток и при таком же выстреле с таким же зарядом на запад дальность полета снаряда в сторону запада якобы в случае вращения Земли должна быть намного больше, чем в сторону востока... (однако) заметьте, какой бы из этих опытов Вы ни произвели, все получится в точности наоборот, чем они утверждают. Так, камень на корабле всегда бу-

дет падать в одном и том же месте, стоит ли корабль или идет с какой-то скоростью. Значит, одно и то же будет верно и на суше, и на корабле, так что из факта перпендикулярного падения камня на почву у основания башни невозможно вообще ничего заключить относительно движения или неподвижности Земли...».

Чтобы проверить, что равномерное движение нельзя заметить при наблюдении каких бы то ни было физических явлений, достаточно подумать о нашем движении вместе с Землей вокруг Солнца. При этом за 365 дней мы проходим расстояние в 939 000 000 км, пролетая, следовательно, почти по 2,6 млн. км в день, по 108 000 км/час, или по 30 км/сек.

Но ведь как раз этого движения вокруг Солнца мы совершенно не замечаем! Однако если бы равномерное движение вызывало какие-то физические эффекты, то уж при такой порядочной скорости, как 30 км/сек, т. е. 108 000 км/час, эти эффекты должны были бы стать заметными. Так как мы не замечаем ничего, то можем считать Закон относительности для равномерного движения строго установленным фактом.

Равномерно движущийся наблюдатель имеет дело только с теми же законами физики, что и покоящийся наблюдатель.

Значит, из собственных физических наблюдений равномерно движущийся наблюдатель выведет столь же обоснованные количественные представления о времени и пространстве, как и «покоящийся» наблюдатель. В самом деле,

ведь нет никаких объективных оснований, чтобы назвать одного наблюдателя «истинно» движущимся, а другого — «истинно» покоящимся. Каждый равномерно движущийся наблюдатель имеет право считать самого себя покоящимся, а других — движущимися мимо него, и в этом не будет никакой ошибки.

Встает вопрос: как связаны друг с другом количественные представления о времени и пространстве у двух наблюдателей, равномерно движущихся относительно друг друга? Какие события каждый из них будет считать происходящими в одном и том же месте, а какие — в одно и то же время?

Так мы в первый раз в этой книге подходим к самой сути нашего вопроса. Мы уже разработали схемы, которые должны стать нашим разговорным языком, и у нас уже есть основной ключ — Закон относительности для равномерного движения. Поэтому можно сделать следующий шаг вперед.

Как связаны между собой количественные представления о времени и пространстве у одного строго научно разбирающегося во всем, равномерно движущегося наблюдателя и эти же представления у другого тоже строго научно разбирающегося во всем, равномерно движущегося наблюдателя? Какие события каждый из них должен считать происходящими в одном и том же месте, а какие — в одно и то же время?

Чтобы ответить на эти вопросы, нужно вспомнить, что у каждого наблюдателя количественные представления о времени и пространстве вытекают из его собственного физического опыта. Значит, ответ следует искать, разобрав-

шись в деталях этого физического опыта у обоих наблюдателей.

Читатель не должен забывать, что мы считаем представления всех наблюдателей о времени и пространстве «правильными» в том смысле, как это говорилось на стр. 44—46. Более того, каждый наблюдатель, считая себя покоящимся, а других — движущимися, должен в то же время отдавать себе отчет, что каждый другой наблюдатель считает самого себя покоящимся, а его движущимся.

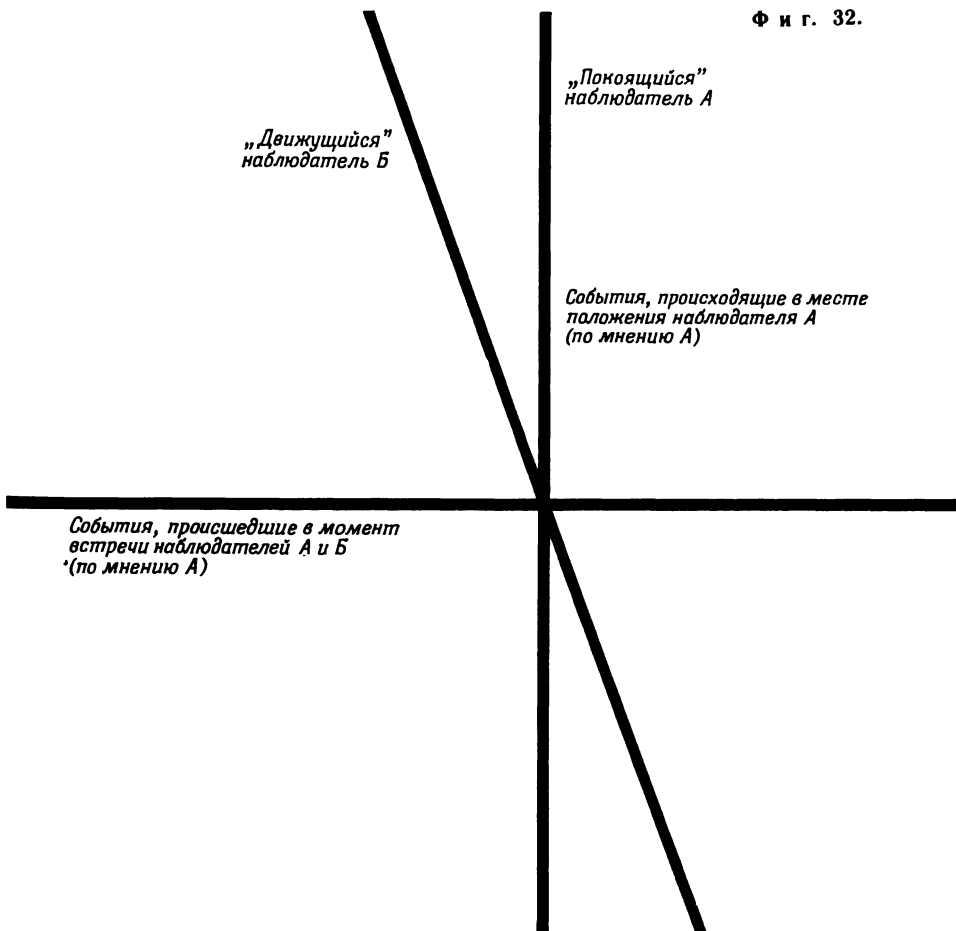
Прежде всего заметим, что для обоих наблюдателей (как и для всех других, конечно) окружающие события должны быть качественно одинаковы. Все будут согласны между собой, например, в том, что такая-то частица существовала и какое-то время двигалась, пока не столкнулась с другой, причем какие-то частицы исчезли, а другие возникли; что где-то произошли взрывы и вспышки света и т. д. В чем такое единогласие необязательно, так это в вопросе о расположении событий в пространстве и во времени и в том, какое событие было раньше, а какое позже. *Раз наблюдатели А и Б движутся относительно друг друга, то они, естественно, не совсем одинаково подходят к конкретным событиям, составляющим их общий физический опыт. Поэтому очень может быть, что те представления о времени и пространстве, которые наблюдатель А черпает из своего физического опыта и которые, следовательно, объективно управляют его опытом, могут несколько отличаться от представлений о времени и пространстве, которые черпает наблюдатель Б в свою очередь из своего физического*

опыта и которые, следовательно, объективно управляют опытом наблюдателя Б. Наша цель — разобратся как раз в тех реальных расходах, которые могут быть обнаружены в количественных представлениях о времени и о пространстве у различных наблюдателей.

Встанем на место одного из двух равномерно движущихся наблюдателей (скажем, А) и будем считать его покоящимся (как рассматривает себя он сам). Свои представления о времени и пространстве он может изобразить в виде схемы, на которой по вертикальной линии отложены все события, происходящие в одном и том же месте, а по горизонтали — все события, случившиеся в один и тот же момент времени. Пусть мимо этого стоящего на месте наблюдателя перемещается другой равномерно движущийся наблюдатель, которого мы назвали Б. Как показано на фиг. 31, положения, в которых последовательно оказывается равномерно движущийся наблюдатель, образуют на схеме прямую линию.

Значит, с точки зрения покоящегося наблюдателя А, картина будет следующей:

Ф и г. 32.



Наблюдатель *A* спрашивает себя: какой набор событий мой партнер *B* будет считать происходящими в одном и том же месте, а какой он будет считать происшедшими в один и тот же момент времени? Как будут выглядеть представления *B* о времени и пространстве, если их изобразить вместе с моими собственными представлениями о времени и пространстве?

На все эти вопросы сразу же дает ответ здравый смысл: так как для всех наблюдателей время и пространство одни и те же и так как наблюдатели *A* и *B* считаются вполне квалифицированными и не допускают ошибок, то их мнения должны совпасть как в вопросе о всех событиях, происходящих в одном и том же месте, так и в вопросе о всех событиях, происшедших в один и тот же момент времени. Итак, здравый смысл говорит: раз *A* изображает на своей схеме по горизонтали все происшедшие одновременно друг с другом события, то и *B* должен в согласии с *A* считать, что эти же точки вдоль горизонтали (на той же схеме!) изображают события, происшедшие одновременно друг с другом и с его, *B*, точки зрения. Таким образом, здравый смысл за ответом в карман не лезет.

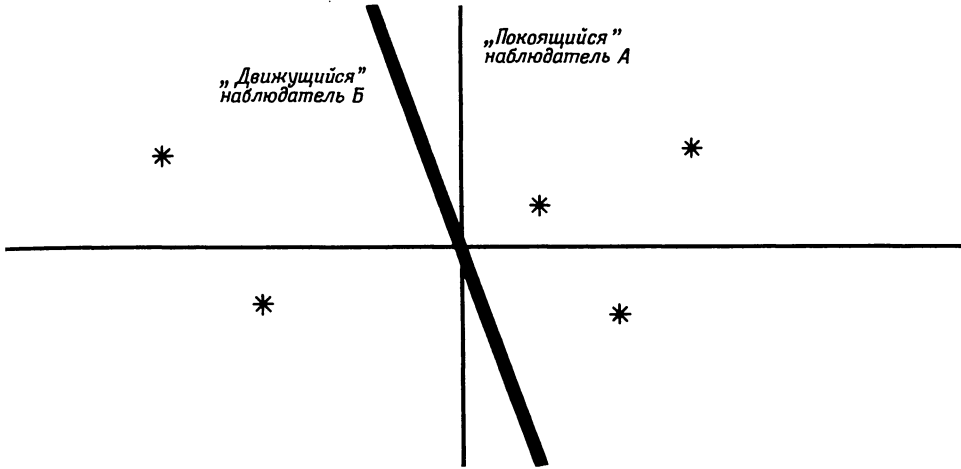
В ходе дальнейших рассуждений мы увидим, что тот ответ, который дает здравый смысл, неправилен. Из того, что уже говорилось, для нас вполне *правдоподобно*, что этот ответ неверен — ведь мы видели, что и *A*, и *B* черпают свои представления о времени и пространстве каждый из своего физического опыта. Так как наблюдатели *B* и *A* движутся относительно друг друга, то

и события, вместе образующие содержание опыта каждого из них, могут представляться им в несколько различном порядке. Но не совпадут ли все-таки их представления о времени и пространстве, как этого требует здравый смысл? Сделаем же решающий шаг и раскрепостим себя духовно, честно признав, что на этом этапе рассуждений мы просто не можем ответить на поставленный вопрос. Мы не знаем ответа, но мы хотим его найти. Продумаем же этот вопрос с такой точностью и тщательностью, на которые мы вообще способны. Может быть, в конце концов наши исследования подтвердят ответ здравого смысла? Если так, то отлично,—мы тогда поймем, почему он был прав. Иначе, может статься, мы придем к важному выводу о том, что здравый смысл — это заблуждение.

Итак, наблюдатель *А* спрашивает: каковы представления *Б* о времени и пространстве? Представления самого *А* о времени и месте, когда и где происходят события, изображены на схеме, составленной им самим. Наблюдатель *А* хочет узнать, какие из этих событий (с точки зрения *Б*) случились в некоторое заданное время. Как изображаются на схеме наблюдателя *А* представления *Б* о времени и пространстве? Если наблюдателю *А* удастся изобразить представления *Б* о времени и пространстве на своей схеме, то сразу же станет видно, согласуются ли эти представления у *Б* и *А*. Но с чего начать? Мы условились не принимать на веру ответ, данный здравым смыслом. Наблюдатель *А* строит свой чертеж, изображающий его представления о времени и про-

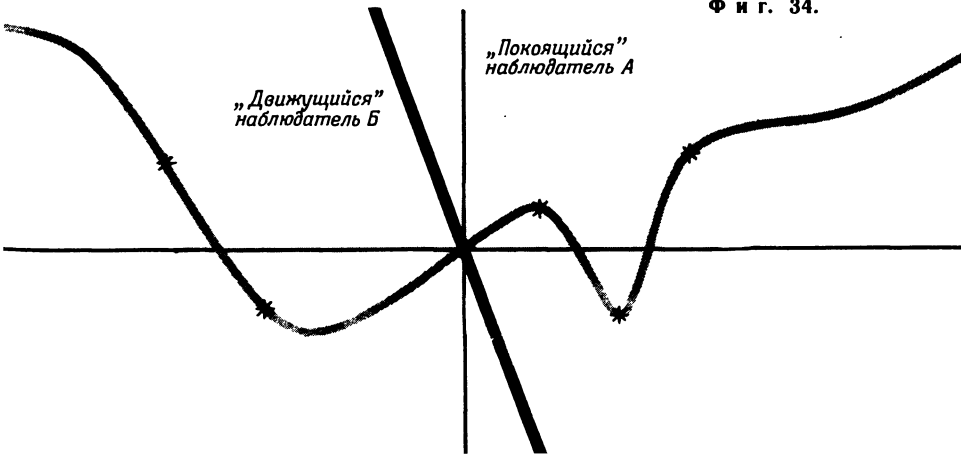
странстве, располагая по вертикали всевозможные события, которые он считает происшедшими в одно и то же время. Однако, как это понимает *А*, наблюдатель *Б*, возможно, считает одновременно происшедшими другие, хитроумно расположенные на схеме события, например отмеченные на схеме наблюдателя *А* звездочками:

Ф и г. 33.



либо все те события, которые в схеме наблюдателя *А* лежат на серой кривой:

Ф и г. 34.



Как же найти твердую почву для выбора из бесчисленного множества мыслимых возможностей, если мы отказались принять на веру простой ответ здравого смысла? К счастью, число этих возможностей решительно сокращается по следующим соображениям. Согласно Закону относительности для равномерного движения, оба наблюдателя видят, что для них выполняются одни и те же физические законы. Одним из таких законов является закон, управляющий движением частицы, на которую ничто не действует извне (закон инерции):

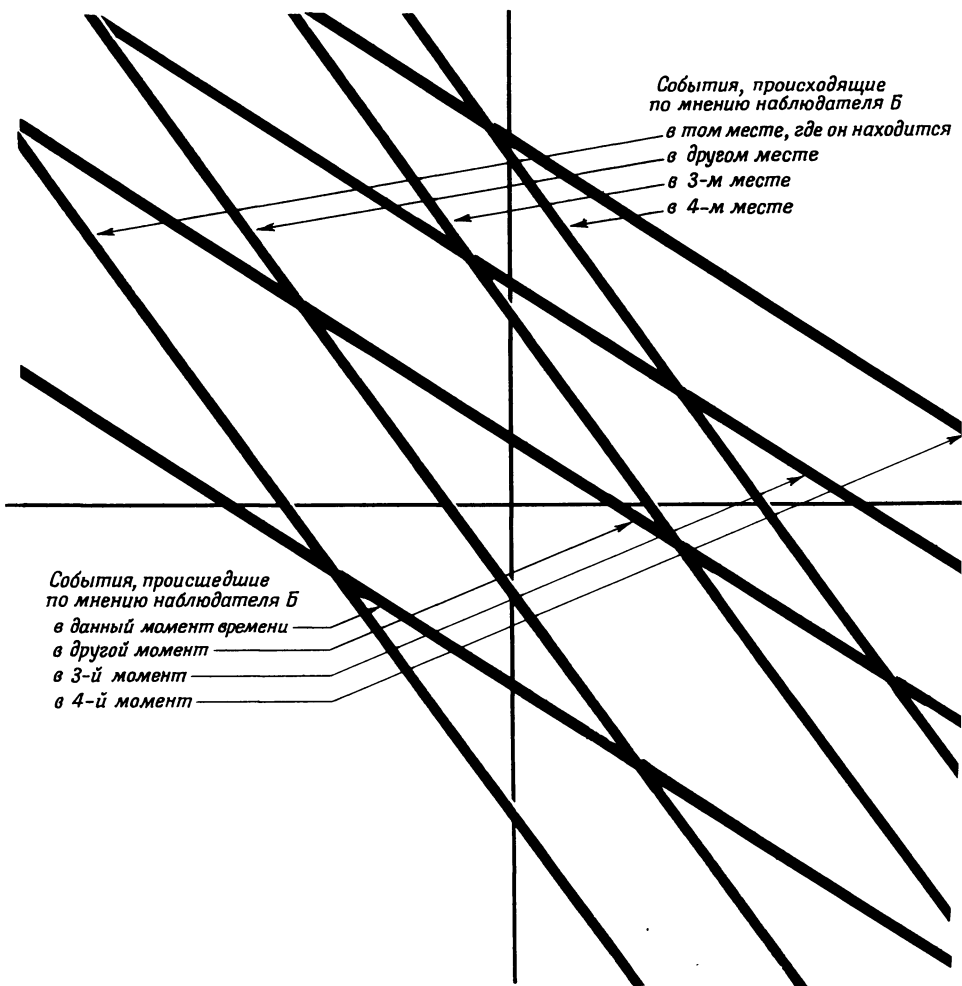
Если частица движется при отсутствии внешних воздействий, то она будет всегда продолжать двигаться равномерно, сохраняя свою первоначальную скорость.

Укажем еще, что оба наблюдателя, *A* и *B*, будут согласны друг с другом в ответе на вопрос, изолирована или нет данная частица, ибо если вблизи этой частицы находится что-нибудь, способное воздействовать на нее, то и *A*, и *B* в равной мере заметят это. Если наблюдатель *A* обнаружил, что рассматриваемая частица изолирована, он знает, что и *B* также придет к заключению о ее изолированности. На фиг. 31 мы нашли, что движение такой изолированной, а значит, движущейся равномерно частицы изображается прямой линией. Значит, наблюдатель *A* видит, что независимо от представлений *B* о времени и пространстве и он, и наблюдатель *B* будут рассматривать одни и те же наборы

событий как лежащие на одной прямой или не лежащие на одной прямой на их схемах. Более того, *A* знает, что наблюдатель *B* будет на своей схеме изображать все события, которые тот считает происходящими в одних и тех же точках, лежащими на вертикальных прямых, а все события, происшедшие, с точки зрения *B*, в одни и те же моменты времени, наблюдатель *B* будет изображать на одних и тех же горизонтальных прямых. Но ведь мы только что установили, что наблюдатель *A* знает, что и он, и *B* одинаково определяют наборы событий, располагающихся на прямых линиях в их схемах (хотя эти наблюдатели вовсе не обязаны согласиться между собой в том, будут ли эти прямые на схеме их партнера горизонтальными, вертикальными или наклонными). Значит, наблюдатель *A* должен также признать, что те события, которые *B* считает происходящими в одном и том же месте, будут лежать на некоторых прямых линиях и в ЕГО, НАБЛЮДАТЕЛЯ *A*, СОБСТВЕННОЙ СХЕМЕ, а те события, которые *B* считает происшедшими в одно и то же время, будут лежать на некоторых других прямых линиях в схеме наблюдателя *A*.

Следовательно, на схеме наблюдателя *А* представления *Б* о времени и пространстве должны изображаться примерно так:

Ф и г. 35.



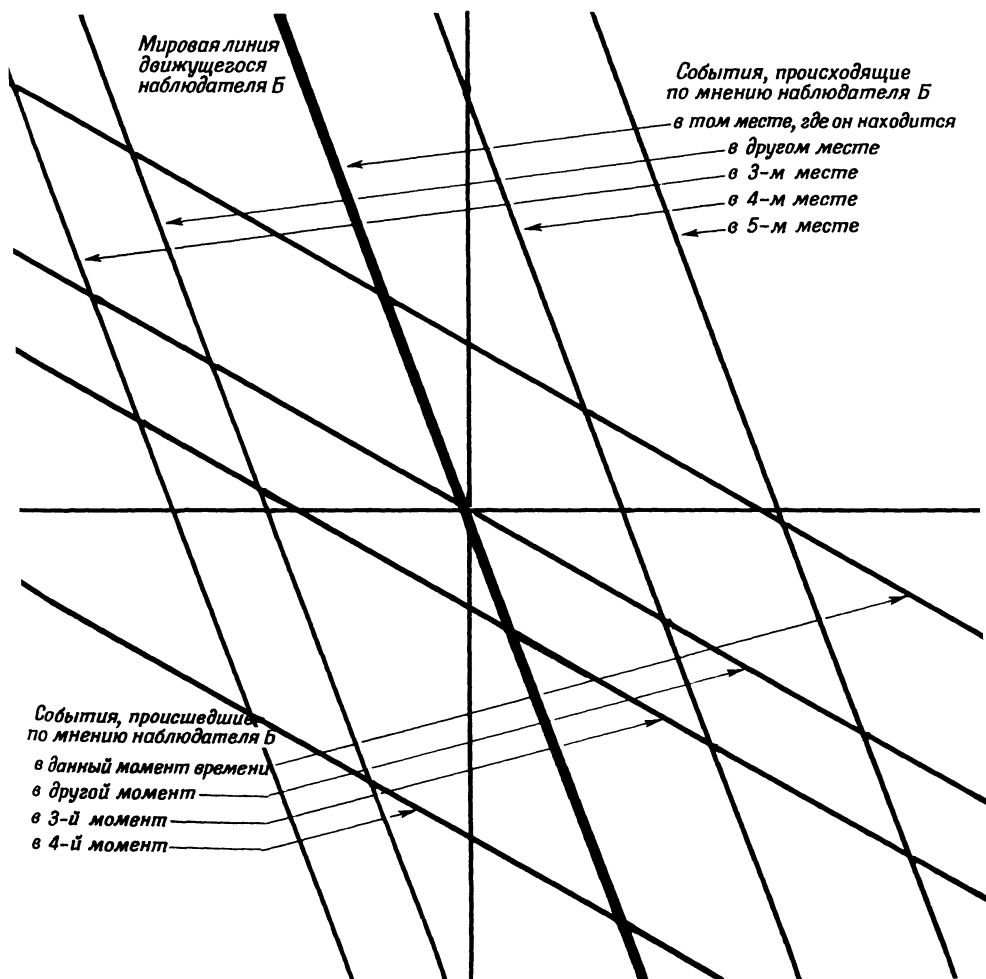
Перескажем словами содержание схемы фиг. 35. Те события, которые наблюдатель *Б* считает происходящими в одном и том же месте, должны лежать в схеме наблюдателя *А* на прямой линии, а не на какой-то более сложной кривой. Равным образом, те события, которые *Б* считает случившимися в одно и то же время, тоже должны лежать на схеме наблюдателя *А* на некоторой прямой. Если одна прямая на схеме наблюдателя *А* изображает всевозможные события, которые, по мнению *Б*, происходят в каком-то данном месте, а другая прямая на схеме *А* изображает все те события, которые, по мнению *Б*, происходят в некотором другом месте, то эти две прямые должны быть параллельными, потому что на схеме *Б* обе линии, соответствующие этим двум наборам событий, являются вертикальными, а значит, не имеют ни одной общей точки. Их пересечение, если бы оно было, изображало бы *одно и то же* событие, которое, с точки зрения *Б*, произошло и в этом месте, и в другом! Значит, на схеме наблюдателя *А* семейство всех линий, изображающих наборы событий, которые происходят, с точки зрения *Б*, в различных, но определенных для каждого набора событий местах, должно быть семейством параллельных линий. Подобным же образом семейство всех линий на схеме наблюдателя *А*, изображающих наборы событий, которые произошли, с точки зрения *Б*, в различные определенные для каждого набора моменты времени, должно быть также семейством параллельных линий.

Наблюдатель *А* понимает, что и *Б* рассматривает себя покоящимся. Значит, *Б* должен считать события, происшедшие в тех точках, где он находился в соответствующие этим событиям моменты времени, случившимися в одном и том же месте. Это именно те события, которые произошли на серо-коричневой прямой на фиг. 32. Эта серо-коричневая прямая просто указывает, где и когда находился наблюдатель *Б*.

Движение наблюдателя *Б* изображается линией, вроде серо-коричневых прямых на фиг. 35, каждая из которых изображает всевозможные события, происходящие, с точки зрения *Б*, в одном и том же определенном месте (причем мы должны выбрать прямую, соответствующую тому месту, где находится сам *Б*). Следовательно, все эти серо-коричневые линии должны

быть параллельными мировой линии наблюдателя *Б*, так что можно еще немного уточнить фиг. 35, и в действительности она станет выглядеть так:

Ф и г. 36.



Подведем итоги. Семейство всех линий на схеме наблюдателя *A*, изображающих наборы событий, происходящих, с точки зрения *B*, в различных фиксированных точках пространства, является семейством линий, параллельных той прямой, которая изображает последовательные положения самого наблюдателя *B*. Семейство линий на схеме наблюдателя *A*, изображающих наборы событий, происшедших, с точки зрения *B*, в различные фиксированные моменты времени, является другим семейством параллельных между собой прямых.

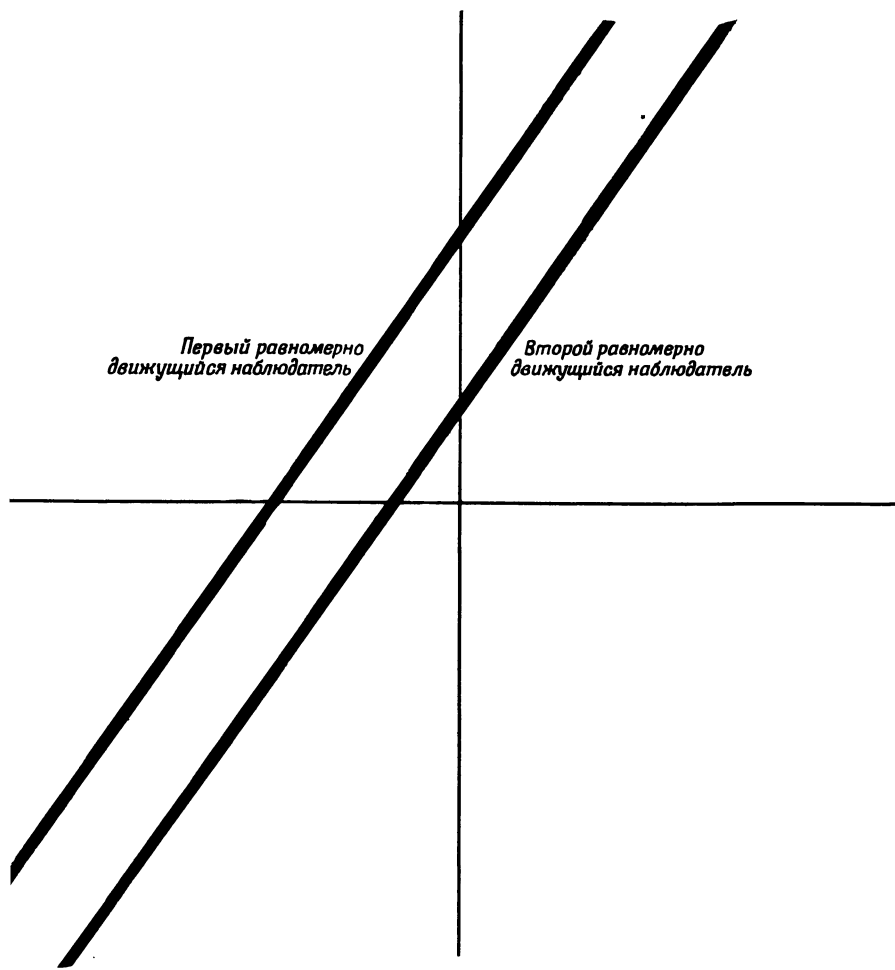
Эти утверждения содержат основную информацию о взаимной связи между представлениями наблюдателя *A* о времени и пространстве и представлениями наблюдателя *B* о времени и пространстве. Чтобы еще больше уточнить эту взаимосвязь, нам следует ответить на дополнительные вопросы вроде следующих. Какой угол образуют с горизонталью те линии на схеме наблюдателя *A*, которые изображают наборы событий, происшедшие, по мнению *B*, в различные фиксированные моменты времени? Чему именно должно быть равно расстояние между этими линиями? И т. д.

Наша задача — ответить на эти вопросы.

Наблюдатель *A* может сделать первые выводы о расстояниях между прямыми, изображающими представления наблюдателя *B* о «фиксированном времени» и о «закрепленной точке», если он использует следующие соображения. Предположим, что справа налево с одинаковой и неизменной скоростью

движутся две частицы, на которые ничто извне не действует. Тогда эти частицы все время будут находиться на одном и том же расстоянии друг от друга согласно измерениям, которые проводит наблюдатель *A*. На схеме наблюдателя *A* движение этих частиц будет изображаться так:

Ф и г. 37.



Так как наблюдатель A считает эти две частицы движущимися с одной и той же скоростью, то их последовательные положения будут изображаться на схеме A двумя прямыми, обладающими одинаковым наклоном, т. е. двумя параллельными прямыми. Параллельность этих линий можно установить и иначе. Ведь если бы они не были параллельными, то пересекались бы где-то. Точка пересечения отмечала бы то время и то место, когда и где эти две частицы встретились бы друг с другом. Но поскольку они (по мнению наблюдателя A) движутся с одинаковой скоростью, расстояние между ними должно всегда сохраняться одинаковым; значит, они никогда не могут встретиться друг с другом.

Далее, наблюдатель A знает, что точка зрения наблюдателя B совпадает с его собственной в отношении того, какие виды движения следует изображать с помощью прямых линий, т. е. представление о равномерном движении у обоих наблюдателей одинаковое. Наблюдатель A знает, таким образом, что B тоже считает обе эти частицы движущимися с постоянной скоростью — одну со скоростью v , а другую, скажем, со скоростью v' . Докажем теперь, что и с точки зрения наблюдателя B эти скорости должны совпадать, т. е. $v = v'$. Мы сделаем это косвенным путем, показав, что предположение о различной величине v и v' приводит к явно неправильным результатам. Итак, предположим, что v и v' различны.

Заметим, что, рассматривая движение только в одном измерении, мы должны считать скорости v и v' именно

теми скоростями, с которыми, по мнению наблюдателя B , частицы движутся в его одномерном пространстве (если угодно, по железнодорожной колее). Для определенности предположим, что с точки зрения наблюдателя B частицы движутся со скоростями v и v' влево, причем v больше, чем v' . Тогда может быть два различных варианта.

Вариант 1. Частица, обладающая большей скоростью v (по мнению наблюдателя B), находится справа от частицы с меньшей скоростью v' . Однако правая частица с течением времени обгонит левую, т. е. в какой-то момент времени встретится с ней. Таким образом, должны существовать такие время и место (в будущем, по мнению наблюдателя B), когда и где эти частицы встретятся.

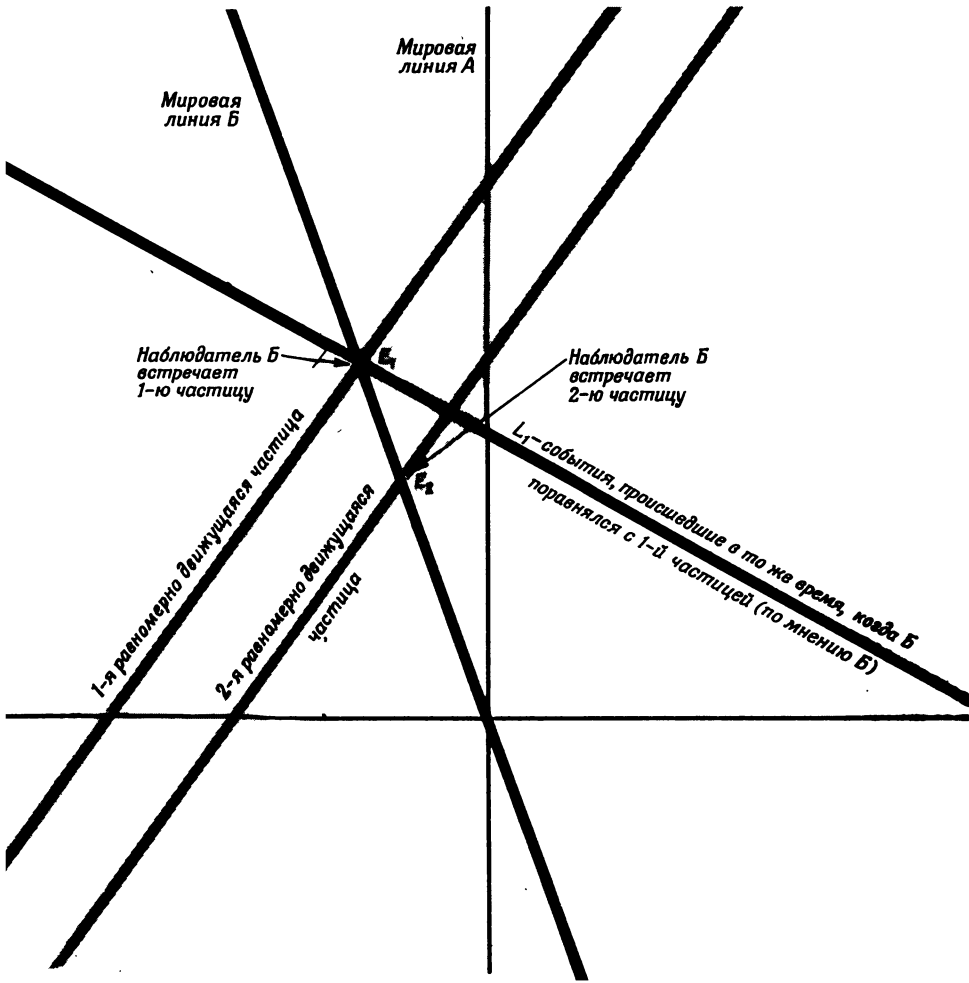
Вариант 2. Частица, обладающая большей скоростью v (по мнению наблюдателя B), находится слева от частицы с меньшей скоростью v' . Однако левая частица будет тогда все время удаляться от правой, обгоняя ее, а значит, поскольку скорости этих частиц постоянны, обе они должны были занимать одно и то же место (должны были встретиться) в некоторый момент времени (в прошлом, по мнению наблюдателя B).

Следовательно, в любом случае, если наблюдатель B обнаружит разницу в скоростях v и v' , мы должны признать, что существует такой момент времени, когда обе частицы оказываются в одном и том же месте. Однако мы знаем, что между наблюдателями A и B

должно существовать качественное согласие в отношении того, какие именно события происходят, хотя они и могут расходиться во мнениях насчет очередности этих событий во времени и пространстве (см. стр. 52). Значит, если наблюдатель *Б* думает, что две частицы, движение которых изображено на фиг. 37, каким-то образом оказались в одном и том же месте в одно и то же время, т. е. что эти частицы встретились, то и наблюдатель *А* должен будет согласиться, что эти частицы встретились в какой-то момент времени и в каком-то месте, т. е. в некоторый момент времени их местоположения совпали. Но ведь совершенно ясно, что, если, по мнению наблюдателя *А*, обе частицы обладают одной и той же скоростью, то никак нельзя ожидать, чтобы они прошли мимо друг друга. То же самое очевидно и из фиг. 37. Наблюдатель *А* ни в коем случае не может считать, что эти две частицы находились в одном и том же месте в одно и то же время (потому что две светло-серые линии никогда не пересекаются). Таким образом, предположение о различной величине скоростей v и v' привело к явно неправильным выводам. Значит, наблюдатель *А* может заключить, что и с точки зрения наблюдателя *Б* обе рассматриваемые частицы должны двигаться с одной и той же скоростью. Опираясь на этот факт, наблюдатель *А* может теперь перейти к определению расстояний между линиями, изображающими последовательные моменты, когда время рассматривается с точки зрения наблюдателя *Б*.

Мы видели, что наблюдатель B должен прийти к тому же заключению, что и наблюдатель A , о точном равенстве скоростей двух частиц, движение которых изображено на фиг. 37. Нарисуем теперь на схеме наблюдателя A вместе с мировой линией наблюдателя B еще одну прямую, изображающую все те события, которые, по мнению B , произошли в тот момент, когда мимо него пролетала первая из рассматриваемых частиц. Тогда получится следующая схема:

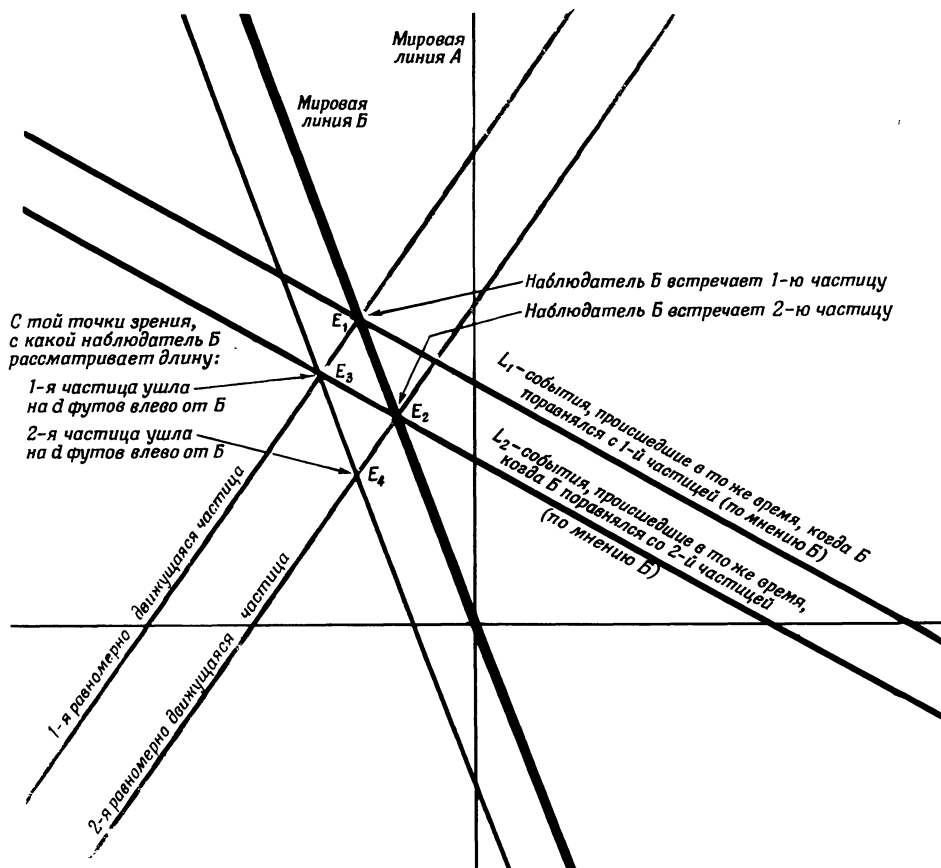
Ф и г. 38.



Назовем буквой v скорость, общую для обеих движущихся частиц, если ее рассматривать с точки зрения наблюдателя B , обозначив расстояние между частицами через d . Тогда время, необходимое для частиц, чтобы пройти расстояние d , будет равно $t = d/v$. Значит, вторая частица пройдет мимо наблюдателя B в точности через t сек после того, как мимо него прошла первая частица (причем время рассматривается здесь с точки зрения наблюдателя B). Итак, по мнению наблюдателя B , событие E_2 в предыдущей схеме должно произойти ровно через t сек после события, которое мы назвали E_1 . Следовательно, линия L_2 , проведенная через E_2 параллельно прямой L_1 , будет изображать все события, происшедшие, с точки зрения наблюдателя B , через t сек после того, как B поравнялся с первой частицей. Пересечение этой прямой с мировой линией первой частицы указывает ту точку, в которой эта частица окажется через t сек после того, как она прошла мимо наблюдателя B (если рассматривать время с

точки зрения B). Значит, эта точка пересечения должна отметить событие, удаленное на расстояние d от наблюдателя B , если рассматривать расстояния с точки зрения B . Это видно из следующей схемы:

Ф и г. 39.



Прямая, проходящая через точку E_3 и параллельная мировой линии наблюдателя B , отмечает все события, происходящие, с точки зрения B , на d м влево от него. Пересечение этой линии с мировой линией второй частицы (точка E_4) изображает приход ее в положение, удаленное влево от наблюдателя B на d м. Естественно, что это событие наступит через t сек после того, как эта вторая частица пройдет мимо наблюдателя B , если говорить о времени с точки зрения B .

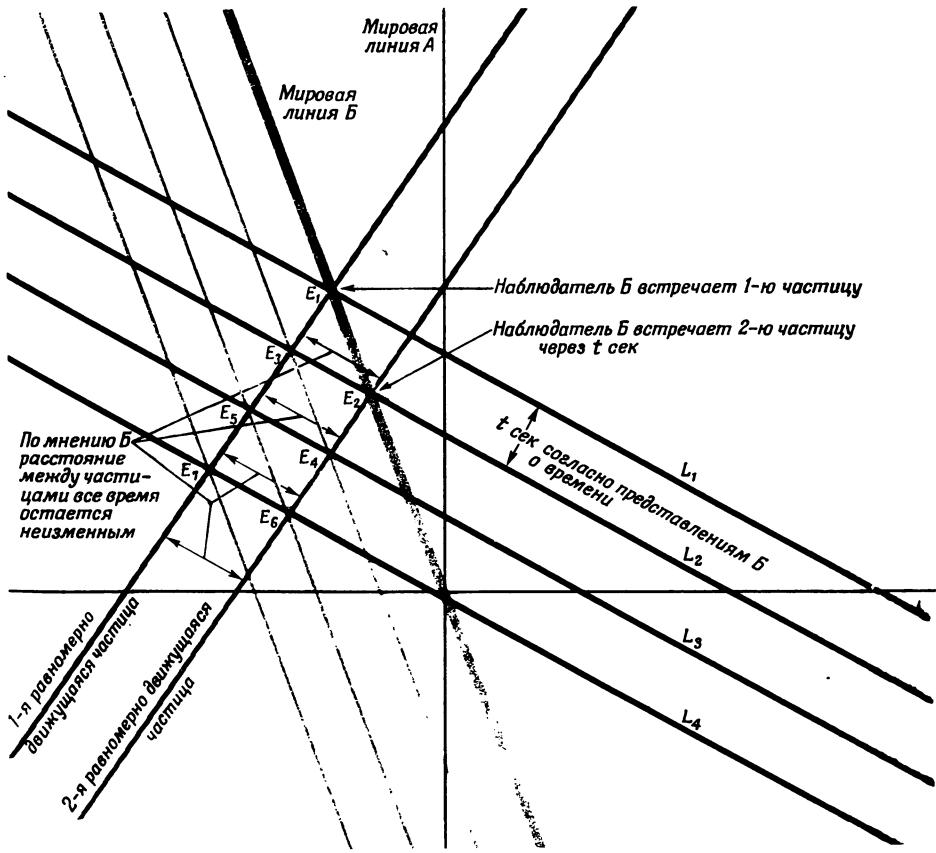
Мы можем теперь построить целую цепочку подобных доводов. Мы видели, что событие E_2 происходит через t сек после события E_1 (говоря о времени с точки зрения наблюдателя B), а событие E_4 — через t сек после события E_2 . Если провести параллельно линиям L_1 и L_2 новую линию L_3 через точку E_4 , то на этой линии будут лежать все те события, которые, согласно B , произойдут через t сек после E_2 . Точка E_5 — пересечение прямой L_3 и мировой линии первой частицы — изобразит теперь приход этой первой частицы в точку, лежащую на $2d$ м влево от наблюдателя B , в тот момент, когда вторая частица будет на d м левее B , если говорить о времени и пространстве с точки зрения B . Таким образом, прямая, проходящая через точку E_5 и параллельная мировой линии наблюдателя B , отмечает все те события, которые (с точки зрения B) происходят на $2d$ м левее места, где расположен наблюдатель B (см. фиг. 40).

Точка E_6 (пересечение той прямой, о которой мы говорили в последний раз, и мировой линии второй равно-

мерно движущейся частицы) изображает приход второй частицы в положение на $2d$ м влево от наблюдателя B , отмечая тем самым событие, которое должно произойти на t сек позднее, чем E_4 . Значит, прямая L_4 , проходящая через точку E_6 и параллельная линиям L_1 , L_2 и L_3 , должна изображать все те события, которые, с точки зрения наблюдателя B , произошли через t сек после E_4 .

Продолжая рассуждать в том же духе, наблюдатель A (а он знает, что представления наблюдателя B о пространстве и времени таковы, как это показано на фиг. 36) количественно найдет, что эти представления можно изобразить следующей схемой:

Ф и г. 40.

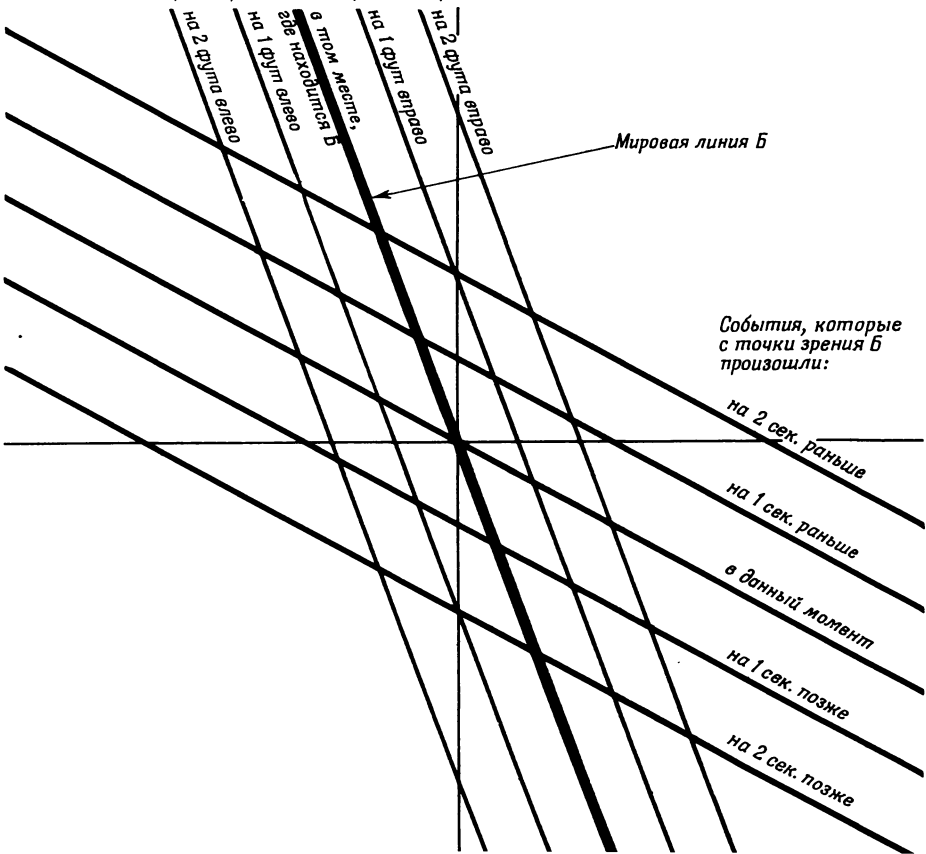


Итак, мы видим, что все события, происходящие на расстояниях d , $2d$ и т. д. метров от наблюдателя B (с точки зрения B), ложатся на линии, равноотстоящие друг от друга на схеме наблюдателя A , а все события, происшедшие, с точки зрения B , в некоторое данное время, на t , на $2t$ сек позже и т. д., ложатся на линии, также равноотстоящие друг от друга.

Содержащаяся в последнем рисунке информация о представлениях наблюдателя B о времени и пространстве настолько ценна, что стоит перерисовать все снова, но уже без такого нагромождения стрелок и надписей.

Ф и г. 41.

События, которые с точки зрения B происходят:



События, которые с точки зрения B произошли:

Чтобы лучше прочувствовать выводы, собранные вместе на фиг. 41, прочтем ее снова. На схеме наблюдателя *A* в семействе параллельных прямых, изображающих всевозможные события, происходящие, с точки зрения *B*, в точках пространства, отделенных друг от друга промежутками в 1 м , все прямые расположены на равных расстояниях друг от друга и все они параллельны линии, изображающей на этой схеме положения, последовательно пройденные наблюдателем *B*. Кроме того, на схеме наблюдателя *A* в семействе параллельных прямых, изображающих всевозможные события, происшедшие, с точки зрения *B*, в последовательные моменты времени, разделенные промежутками времени в 1 сек , все прямые также расположены на одинаковых расстояниях друг от друга.

Каждый набор линий содержит лишь равноотстоящие друг от друга прямые, однако те знания, которыми мы пока располагаем, не позволяют нам сделать заключения о различии или равенстве интервалов между прямыми в разных семействах.

Наблюдатель *A* будет знать все необходимое о представлениях наблюдателя *B* о времени и пространстве, если он сможет найти ответы всего на три новых вопроса:

1. Какой угол составляют с вертикалью те прямые, которые, по мнению наблюдателя *B*, изображают всевозможные события, происшедшие в одно и то же время?
2. На каком расстоянии друг от друга лежат прямые, изображающие, с точки зрения наблюдателя *B*,

всевозможные события, происшедшие в данный момент, спустя 1 сек, спустя 2 сек и т. д.?

3. На каком расстоянии друг от друга лежат прямые, изображающие, с точки зрения наблюдателя *Б*, всевозможные события, происходящие в данной точке, в 1 м от нее, в 2 м от нее и т. д.?

Найти правильные ответы на эти вопросы нелегко. Мы возьмемся теперь за эту задачу, и ее решение займет следующие несколько страниц.

Здравый смысл дает, казалось бы, очевидный ответ сразу на все вопросы. Согласно этому здравому смыслу, время есть время; и то время, которое управляет физическим опытом наблюдателя *А*, будет управлять и физическим опытом наблюдателя *Б*, как и всем вообще происходящим, и это будет просто реальное физическое время, текущее одинаково объективно, равномерно сразу для всех наблюдателей во всей Вселенной.

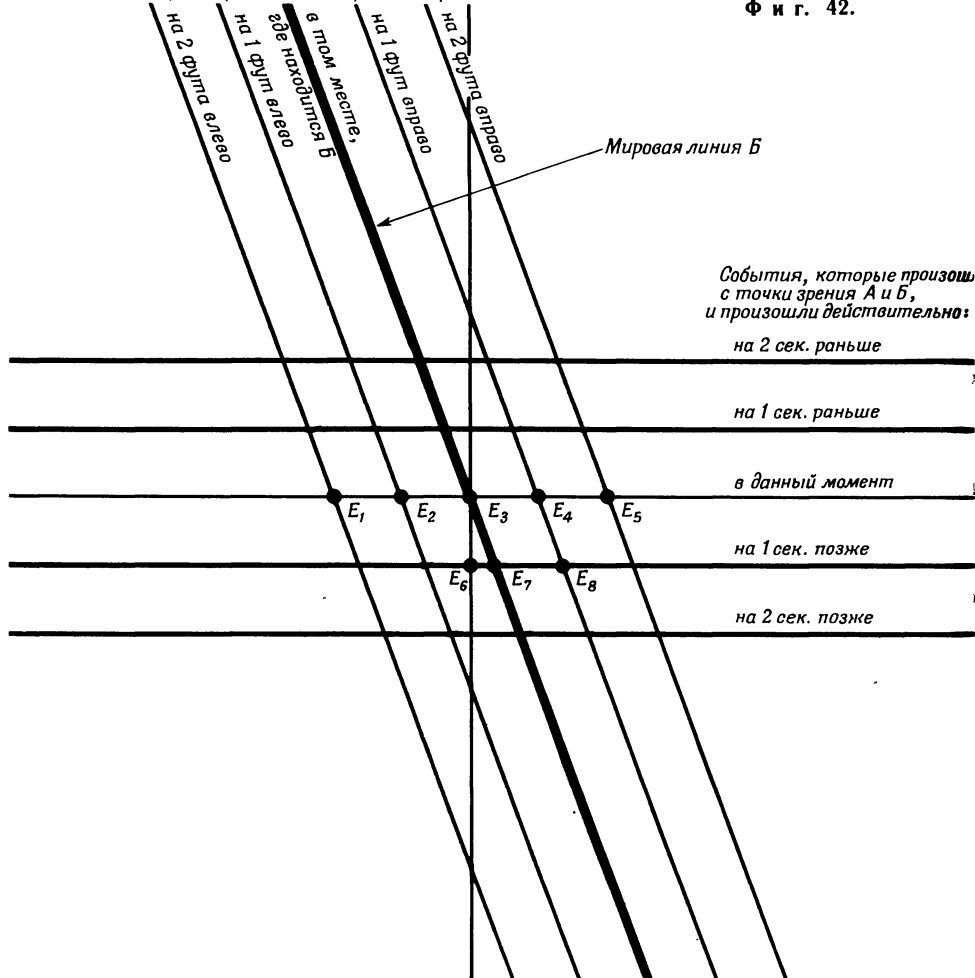
Таким образом, говорит здравый смысл, представление о времени, к которому придет наблюдатель *Б* на основании своего физического опыта, должно быть с необходимостью тем же самым, к которому, со своей стороны, придет наблюдатель *А*. Отсюда те прямые, о которых идет речь в пер-

вом и втором вопросах, должны быть теми же самыми горизонтальными линиями, которые изображают события, происшедшие, с точки зрения наблюдателя *A*, в данный момент, спустя 1 сек, спустя 2 сек и т. д. С точки зрения здравого смысла просто глупо употреблять выражения вроде «с точки зрения наблюдателя *A*» или «с точки зрения наблюдателя *B*». Прямые, о которых мы говорим, изображают ведь наборы событий, которые реально, объективно произошли в данный объективный момент времени, через 1 сек после него, через 2 сек и т. д. Если наблюдатели *A* и *B* все же обнаружат различие в своих подходах, то, утверждает здравый смысл, это будет просто означать, что они ошибаются. Если же мы с самого начала предполагаем, что и наблюдатель *A*, и наблюдатель *B* правильно оценивают данные своего физического опыта, а те физические законы, о которых трактует Закон относительности для равномерного движения, в равной мере касаются их обоих, и если никто из них ни в каком отношении не допускает ошибок, то, следовательно, у них обоих представление о времени должно быть одним и тем же — истинным, объективным представлением. Это говорит здравый смысл.

Следовательно, здравый смысл требует, чтобы фиг. 41 выглядела в действительности так:

События, которые с точки зрения Б происходят:

Ф и г. 42.



В согласии с выводами, сделанными на стр. 72 и изложенными снова на стр. 74—77, всевозможные события, происшедшие в моменты, которые разделены интервалами в 1 сек, изображаются семейством равноотстоящих друг от друга параллельных прямых. Однако здравый смысл утверждает нечто еще большее, а именно что эти линии должны быть все горизонтальными (а не наклонными под некоторым, хотя бы и небольшим, углом к горизонтали), и расстояния между ними должны всегда соответствовать интервалу в 1 сек, также с точки зрения наблюдателя A .

Значит, здравый смысл утверждает также, что и расстояние есть расстояние — одно и то же объективное физическое расстояние, с необходимостью управляющее физическим опытом как наблюдателя A , так и наблюдателя B . Таким образом, согласно здравому смыслу, оба наблюдателя (если только они не ошибаются) должны прийти к единому мнению, что события E_1, E_2, E_3, E_4 и E_5 на предыдущей схеме — все произошли в одно и то же время и на расстояниях в 1 м каждое последующее от каждого предыдущего; кроме того, как A , так и B должны прийти к единому мнению, что события E_6, E_7 и E_8 произошли через 1 сек после предыдущих и каждое из них отстоит от соседнего на 1 м. Конечно, наблюдатель A будет считать, что событие E_3 произошло в том же самом месте, что и E_6 , тогда как, по мнению наблюдателя B , в том месте, где было событие E_7 , произошло другое событие E_3 . Однако оба наблюдателя понимают, что это раз-

личие, естественно, получается от того, что каждый из них считает себя находящимся в покое, а другого — движущимся, т. е. каждый рассматривает самого себя при измерениях в качестве «начала отсчета». Такое небольшое различие в их точках зрения не приводит ни к каким особым последствиям, так как, согласно Закону относительности для равномерного движения, не существует такого физического эксперимента, который смог бы доказать, что один из них прав, а другой ошибается, считая именно себя покоящимся.

Все выводы, полученные до стр. 75, являются строгими, а начиная с этой страницы и до сих пор, все утверждения выражают по существу обычно принятые взгляды. Мы увидим скоро, что эти общепринятые взгляды, т. е. здравый смысл, ошибочны.

Они ошибочны, хотя большинство людей в течение столетий верили, что время и расстояние — это самоочевидные и абсолютные понятия физического мира. Они ошибочны, несмотря на то, что точку зрения здравого смысла разделяли самые выдающиеся умы науки. Например, Ньютон писал в своих *«Началах»*¹:

Абсолютное, истинное математическое время, само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо

¹ См. перевод *«Математических начал натуральной философии»* И. Ньютона в Собрании трудов акад. А. Н. Крылова, т. 7, Изд. АН СССР, М.—Л., 1936, стр. 307. — *Прим. перев.*

внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью... Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным.

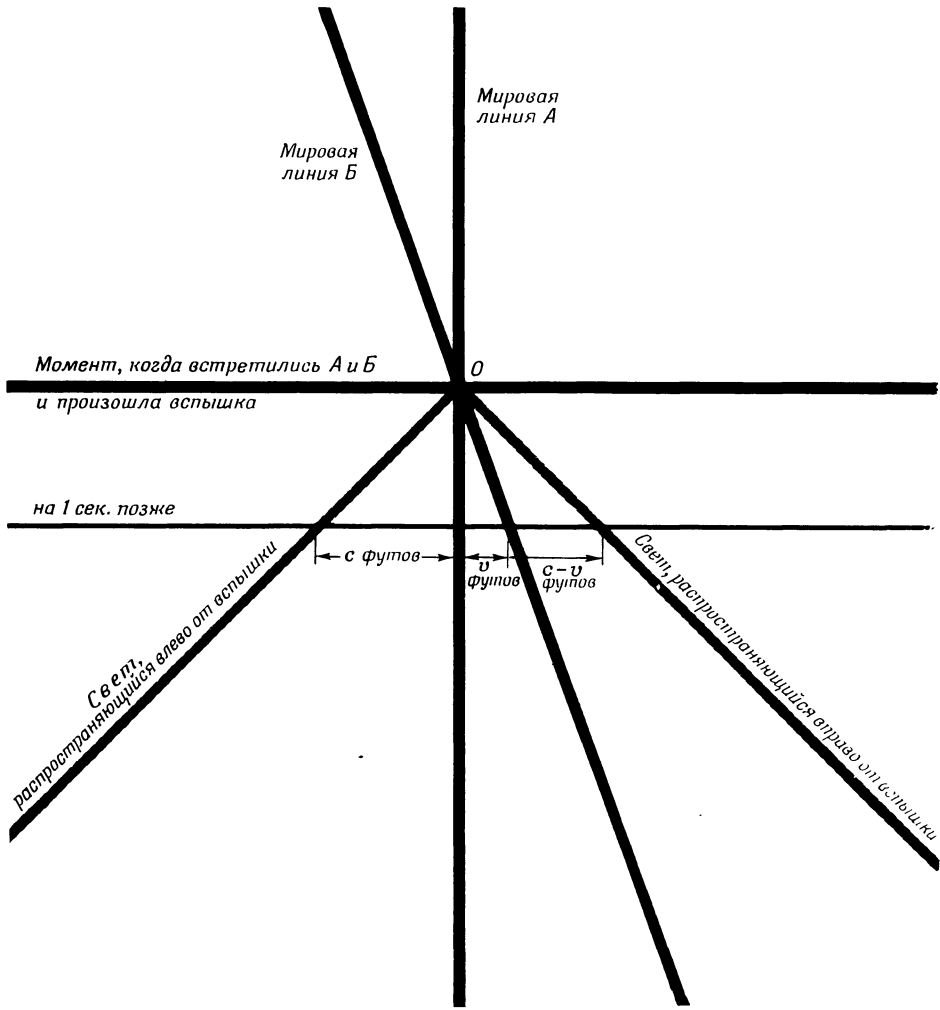
Как это много и как мало! Именно таких взглядов придерживались все до тех пор, пока Эйнштейн не понял, что точка зрения здравого смысла вступает в противоречие с нашим физическим опытом, относящимся к скорости света, и тогда эта точка зрения терпит провал.

Обратимся же к фактам!

Произведем вспышку света; тогда свет будет распространяться от места вспышки во всех направлениях. Его скорость во всех направлениях будет неизменна и одинакова, и за каждый промежуток времени свет распространится настолько же влево, насколько и вправо от места вспышки. (Для ясности заметим, что, как утверждалось на стр. 26 и 34 и повторялось впоследствии, мы считаем здесь всякое движение происходящим в одномерном пространстве, так что это движение может происходить лишь влево или вправо, а всякие две частицы могут двигаться либо в одну и ту же сторону, либо в противоположные стороны.) Пусть один равномерно движущийся наблюдатель (*Б*) перемещается мимо другого равномерно движущегося наблюдателя (*А*). Мы будем смотреть на мир глазами наблюдателя *А* и предположим, что он покоится, а наблюдатель *Б* движется мимо него

слева направо со скоростью v , так что через 1 сек после встречи с A он уйдет от него вправо на v м. Пусть в тот момент и в том месте, когда и где A и B встретились друг с другом, они произвели световую вспышку. Свет этой вспышки будет распространяться и влево, и вправо со скоростью c . В схеме событий наблюдателя A все это примет вид

Ф и г. 43.



Через 1 сек после вспышки (если говорить о времени с точки зрения наблюдателя A) свет, распространяющийся влево от места вспышки, будет на s м левее A , а свет, распространяющийся вправо, будет на s м правее A . Наблюдатель B окажется к тому времени на v м вправо от A , а, значит, свет, распространяющийся вправо, будет только на $s-v$ м правее B , в то время как свет, распространяющийся влево, будет на целых $s+v$ м левее B . Однако при этом, если здравый смысл окажется прав и если время и пространство являются абсолютными и объективными, наблюдатель B придет к единому мнению с наблюдателем A относительно того, какие события произошли через 1 сек после данного момента и какие расстояния разделяют эти события. Тогда из фиг. 43 очевидно, что и наблюдатель B тоже будет считать, что через 1 сек после вспышки часть света от нее окажется на $s+v$ м левее его, тогда как другая часть света распространится только на $s-v$ м от него вправо. *Однако это означало бы, что, с точки зрения наблюдателя B , свет нашей вспышки распространяется влево быстрее, чем вправо!*

К такому заключению приходит сто-процентный здравый смысл. Наблюдатель A видит, что свет распространяется вправо с той же скоростью, что и влево. Однако наблюдатель B сам движется вправо, поэтому он еще сам удаляется от той части испущенного при вспышке света, что распространяется влево, и нагоняет ту его часть, что распространяется вправо. Значит,—

говорит здравый смысл, — свет, вслед которому движется наблюдатель B , должен казаться ему распространяющимся медленнее, а свет, распространяющийся в сторону, противоположную движению B , должен казаться ему движущимся быстрее. Все должно быть в точности так же, как если бы вы ехали на автомашине со скоростью 60 км/час следом за другой машиной, идущей со скоростью 61 км/час ; здравый смысл утверждает в этом случае, что идущая впереди машина будет вам казаться удаляющейся со скоростью лишь 1 км/час . Другая же машина с противоположной стороны дороги, идущая навстречу со скоростью 60 км/час , промчится мимо вас со скоростью уже 120 км/час .

Точка зрения здравого смысла утверждает, что время и пространство — это абсолютные реальности, представляющиеся всем одинаково, так что наблюдатели A и B оба должны заключить, что картина, которая сложится через 1 сек после световой вспышки, будет выглядеть именно так, как мы изобразили на фиг. 43. Например, если наблюдатель B движется со скоростью v в ту же сторону, в которую распространяется и свет (со скоростью c), то он обнаружит, что скорость этого света равна $c-v$. Эта точка зрения здравого смысла совершенно последовательна, и все ее различные следствия подтверждают одно другое. Однако точка зрения может быть последовательной и в то же время неправильной.

Так правильна ли точка зрения здравого смысла? Допустим, что да. Мы

уже видели, что наша Земля движется по своей орбите со скоростью 30 км/сек; следовательно, измерение скорости света, идущего от какой-нибудь вспышки, должно было бы показать, что этот свет распространяется в одном направлении по крайней мере на 60 км/сек быстрее, чем в противоположном направлении. **ВОТ ЭТО УТВЕРЖДЕНИЕ И МОЖЕТ БЫТЬ ПРОВЕРЕНО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО.**

Оно было экспериментально проверено впервые Майкельсоном и Морли на второй неделе июля 1887 г. Майкельсон и Морли тщательно измерили скорость, с которой свет распространяется в самых различных направлениях, и обнаружили, что **ОН РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ СОДИНАКОВОЙ СКОРОСТЬЮ В ЛЮБОМ НАПРАВЛЕНИИ.** (Им пришлось быть очень точными, ведь скорость света равна примерно 300 000 км/сек, и отклонение в 60 км/сек, которого они искали, составляет всего $\frac{1}{20}$ часть процента этой величины. Однако у них была возможность достичь такой точности в своих измерениях.) Они обнаружили таким образом пример физического опыта, несовместимый с фиг. 42 и 43, т. е. **ПРИМЕР, НЕСОВМЕСТИМЫЙ С ПРЕДСТАВЛЕНИЯМИ ЗДРАВОО СМЫСЛА О ТОМ, ЧТО ВРЕМЯ И РАССТОЯНИЕ — ЭТО АБСОЛЮТНЫЕ РЕАЛЬНОСТИ, К КОТОРЫМ ОДИНАКОВО ДОЛЖНЫ ПОДХОДИТЬ И НАБЛЮДАТЕЛЬ А, И НАБЛЮДАТЕЛЬ Б.** (В этом случае наблюдатели А и Б, в сущности, оба изображают наши собственные состояния движения вокруг Солнца, когда мы движемся однажды с одной скоростью, а через полгода — с другой.) Физический опыт показывает нам, что дви-

жение Земли вокруг Солнца не влияет на результаты наших измерений скорости света ни в каком направлении: в любое время года и во всех направлениях эта скорость оказывается равной $300\,000$ км/сек.

Тот факт, что движение Земли никак не влияет ни на какие результаты нашего физического опыта, был главным доказательством (см. стр. 50) справедливости Закона относительности для равномерного движения, сформулированного на стр. 47:

Для наблюдателя, находящегося в состоянии равномерного движения, все законы физики выполняются совершенно так же, как и для покоящегося наблюдателя.

Поскольку движение Земли вокруг Солнца никак не влияет и на величину скорости света, нам придется просто признать, что факт универсального постоянства скорости распространения света — это один из законов физики, подчиняющийся нашему Закону относительности. Значит, Закон относительности для равномерного движения следует формулировать так:

Для наблюдателя, находящегося в состоянии равномерного движения, все законы физики выполняются совершенно так же, как и для покоящегося наблюдателя, включая закон о распространении света со скоростью $300\,000$ км/сек.

Как было показано на стр. 82—84, Закон относительности в такой форме, согласующийся с выводами нашего опыта, явно противоречит точке зрения здравого смысла о том, что время и пространство — это абсолютные реальности, о которых все наблюдатели должны говорить в точности одно и то же.

(Экскурс в историю: До того как был произведен эксперимент Майкельсона—Морли, всем интуитивно казалось, что его результат должен быть совсем другим, что движение наблюдателя *должно* влиять на результат измерения скорости света, и притом именно так, как того требует здравый смысл. Поэтому казалось, что нет разумных причин сомневаться в правильности представлений традиционного здравого смысла о времени и пространстве либо даже просто заниматься таким основательным исследованием этих представлений, какое проделано на предыдущих страницах. Однако, когда эксперимент Майкельсона—Морли показал, что и для движущегося наблюдателя скорость света равна $300\,000\text{ км/сек}$, гений Эйнштейна получил возможность разбить косность общепризнанных традиционных взглядов, и Эйнштейн провел тот подробный анализ представлений о времени и пространстве, который мы повторили на этих страницах, а в результате пришел к блестящим открытиям, сущность которых мы теперь изложим.)

Взгляд здравого смысла на время и расстояние как на абсолютные реаль-

ности, таким образом, противоречит просто опытному факту, обнаруженному Майкельсоном. Мнения должны руководствоваться фактами! Значит, точка зрения здравого смысла ошибочна; ошибочны и те ответы, которые здравый смысл дает на поставленные нами три вопроса (см. стр. 75); ошибочны все схемы и заключения, собранные на стр. 75—85. Правильный ответ на наши три решающих вопроса, если он вообще существует, должен находиться в согласии с тем опытным фактом, что для всех равномерно движущихся наблюдателей свет распространяется с одной и той же скоростью, равной

$$c = 300\,000 \text{ км/сек}$$

вне зависимости от направления.

Как же правильно ответить на три вопроса, заданные на стр. 75? Эйнштейн понял первым, что *МЫ МОЖЕМ НАЙТИ ВЕРНЫЕ ОТВЕТЫ, ЛИШЬ ИСХОДЯ ИЗ ТОГО ФАКТА, ЧТО СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА ВО ВСЕХ НАПРАВЛЕНИЯХ ДОЛЖНА БЫТЬ РАВНА «с» ДЛЯ ВСЕХ РАВНОМЕРНО ДВИЖУЩИХСЯ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ.*

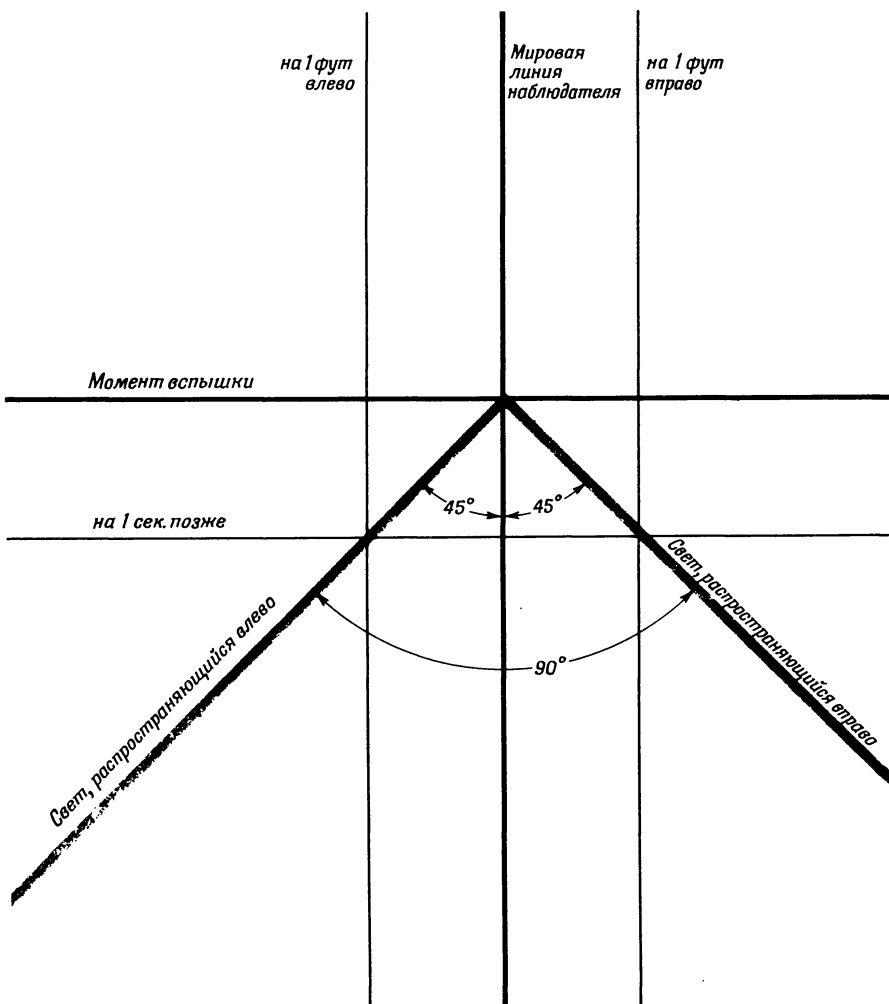
Раз скорость c играет такую важную роль, то теперь будет очень удобно предположить, что все наши равномерно, но с разными скоростями движущиеся наблюдатели выбрали свою единицу длины равной как раз 300 000 км, так что скорость света стала равна 1 *едини-*

це длины в секунду. Чтобы было удобнее это говорить, мы назовем такую единицу длины — 300 000 км — «футом», так что скорость света будет 1 фут/сек. Хотя наш «фут» куда длиннее обычного фута¹, этот удобный способ выражения не приведет нас ни к каким ошибкам, если мы, конечно, не забудем, что такой «фут» — это на самом деле 300 000 км. Чтобы было удобно рисовать схемы событий, изображающие представления различных наблюдателей о пространстве и времени, мы условимся в дальнейшем на таких схемах всегда считать, что отстоящие на 1 дюйм друг от друга две горизонтальные линии изображают два набора событий, промежуток времени между которыми равен 1 сек; постоянно же в 1 дюйм между двумя вертикальными прямыми будет отвечать истинное расстояние в 1 «фут» между соответствующими событиями (с точки зрения того наблюдателя, который вычертил эту схему, т. е. с точки зрения покоящегося наблюдателя). Равномерно движущийся наблюдатель обнаружит, что свет, испущенный при вспышке, распространяется как вправо, так и влево со скоростью 1 фут/сек. Этот

¹ Напомним, что обычные фут и дюйм равны: 1 фут \approx 30 см, 1 дюйм = 2,54 см. — Прим. перев.

наблюдатель изобразит тогда вспышку и последовавшее за ней распространение света таким образом:

Ф и г. 44.



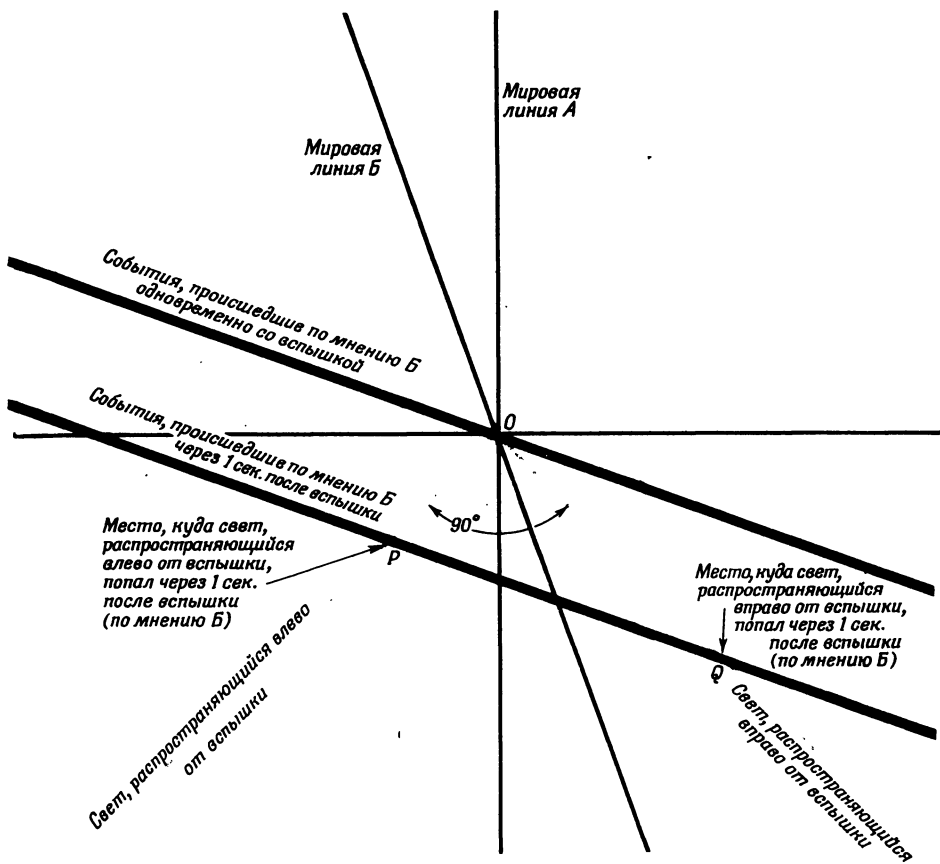
Через 1 *сек* после вспышки (с той точки зрения, с какой подходит ко времени наш наблюдатель) свет, распространяющийся влево, будет находиться на 1 *фут* левее этого наблюдателя, а свет, распространяющийся вправо, будет находиться на 1 *фут* правее его. Раз мы выбрали единицы измерения таким образом, что свет проходит 1 *фут* за секунду, то линии, изображающие на нашей схеме последовательные положения светового фронта, всегда будут иметь наклон 1 : 1, т.е. 45 *град.*

Пусть один равномерно движущийся наблюдатель (*Б*) перемещается мимо другого равномерно движущегося наблюдателя (*А*). Мы встанем в положение наблюдателя *А* и будем считать его покоящимся. В тот момент, когда *А* и *Б* встретились, они произвели световую вспышку. Наблюдателя *А* интересует вопрос: каковы количественные представления о времени и пространстве у *Б*? Он уже знает, что на его схеме представления наблюдателя *Б* о пространстве и времени в общем должны изображаться наподобие того, что мы видим на фиг. 41. Ему остается только ответить на три вопроса, поставленные на стр. 75.

Пусть наблюдатель *А* провел на своей схеме событий две прямые линии. Первая из них изображает всевозможные события, происшедшие, по мнению наблюдателя *Б*, в момент вспышки, а вторая — всевозможные события, происшедшие, по мнению *Б*, спустя 1 *сек.*

Эти две линии — именно те самые, о точном наклоне которых и о расстоянии между которыми мы пока ничего не знаем, но хотим узнать. Схема наблюдателя А получится такой:

Ф и г. 45.



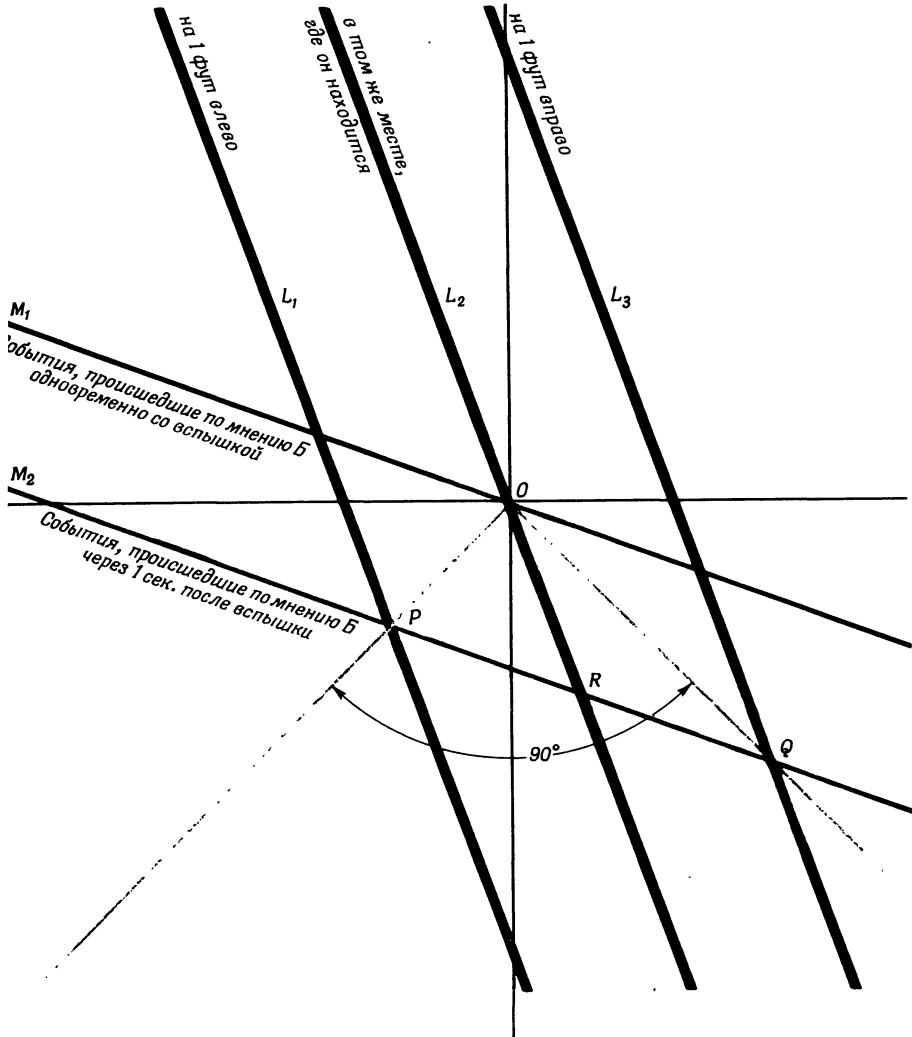
Светло-коричневые линии изображают свет, распространяющийся от места вспышки, и их наклон поэтому равен 45 град . Серо-коричневая прямая, проходящая через O , изображает все события, происшедшие, с точки зрения наблюдателя B , одновременно со вспышкой; она, конечно, параллельна другой серо-коричневой прямой, изображающей всевозможные события, происшедшие, по мнению B , спустя 1 сек . Точка пересечения этой последней серо-коричневой линии со светло-коричневой прямой, изображающей последовательные положения распространяющегося вправо от места вспышки светового фронта, указывает то место, в котором, по мнению B , свет покажется через 1 сек после вспышки (согласно представлениям B о времени). Точно так же пересечение той же серо-коричневой линии со светло-коричневой прямой, изображающей последовательные положения распространяющегося влево от места вспышки светового фронта, указывает то место, в котором, по мнению B , идущий влево свет покажется через 1 сек (согласно представлениям B о времени).

Кроме того, наблюдатель A знает, что, с точки зрения B , свет также распространяется и влево, и вправо от места вспышки со скоростью 1 фут/сек . Значит, он знает и то, что те линии, которые на фиг. 41 изображают всевозможные события, происходящие, с точки зрения наблюдателя B , в 1 фут слева и

справа от него, должны соответственно пройти через точки P и Q . Тогда предыдущий рисунок можно дополнить новой информацией, и он приобретет такой вид:

Ф и г. 46.

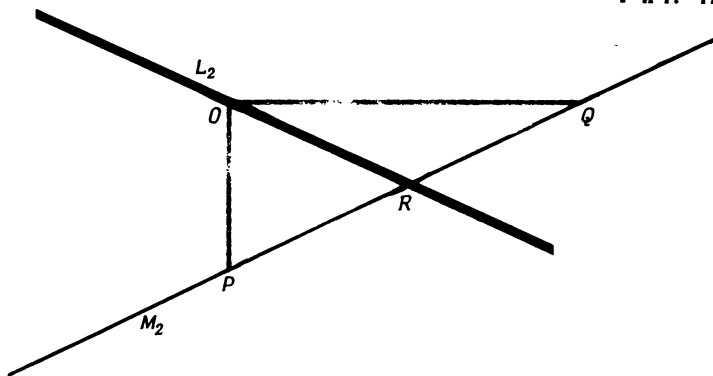
События, происходящие с точки зрения B :



Согласно мнению наблюдателя B , точка P — это та самая точка, в которую свет, идущий влево от места вспышки, приходит через 1 сек после момента этой вспышки. Значит, по мнению B , точка P должна лежать на 1 фут влево от того места R , где сам B будет через 1 сек, а поэтому прямая L_1 , параллельная мировой линии L_2 наблюдателя B , должна изображать всевозможные события, происходящие левее его на 1 фут. Точно так же линия L_3 должна изображать всевозможные события, происходящие на 1 фут вправо от наблюдателя B .

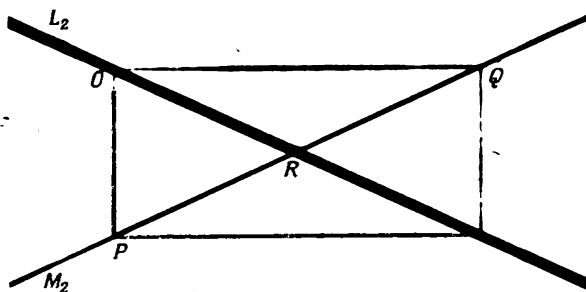
Как мы видели на стр. 74—76, наблюдатель A знает, что расстояние между линиями L_1 и L_2 равно расстоянию между линиями L_2 и L_3 . Поэтому мы можем утверждать, что из трех точек P , R и Q , в которых линия M_2 пересекает прямые L_1 , L_2 и L_3 , точка R лежит в точности посередине, деля ровно пополам отрезок PQ (расстояния от P до R и от R до Q на схеме равны друг другу). Рассмотрим подробнее часть фиг. 46, а именно сочетание линий L_2 и M_2 и двух светло-коричневых прямых, изображающих мировые линии распространения света от места вспышки вправо и влево. Слегка повернув рисунок, чтобы это сочетание линий было удобнее рассматривать, мы получим следующую схему:

Ф и г. 47.



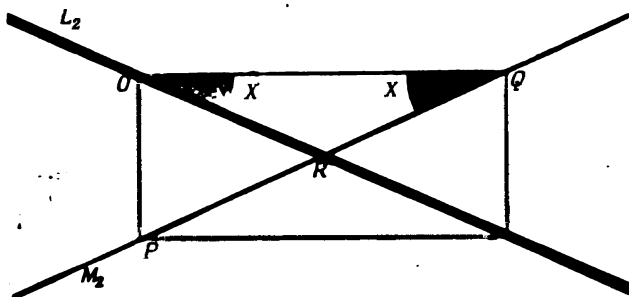
Линия L_2 делит отрезок PQ точно пополам. Угол POQ в два раза больше 45 град, т. е. равен 90 град, иначе говоря, это прямой угол. Дополняя чертеж двумя новыми светло-коричневыми линиями до полного прямоугольника, мы видим из симметрии получающейся при этом фигуры, что линия, которая делит пополам диагональ PQ , проходит вместе с тем и через четвертую вершину нашего прямоугольника:

Ф и г. 48.



Из симметрии фигуры видно также, что соответствующие углы в ней должны быть равны друг другу; мы отметим на чертеже два самых важных из них:

Ф и г. 49.



Факт равенства всех углов, обозначенных через X , показывает, что если сложить наш чертеж по светло-коричневой линии F (как говорят, произвести зеркальное отражение относительно нее), то прямые, лежащие с противоположных сторон от линии F и образующие с ней одинаковые углы, наложатся и совпадут друг с другом, так что линии M_1 и L_2 при таком отражении обязательно поменяются ролями, а линии M_2 и L_3 тоже обязательно поменяются ролями. Так как такое отражение не изменит никаких длин, то расстояние между линиями M_1 и M_2 на нашей схеме должно быть то же самое, что и между линиями L_2 и L_3 .

Но ведь мы уже знаем, что параллельные прямые M_1 и M_2 изображают всевозможные события, происшедшие, с точки зрения наблюдателя B , в два заданные момента времени, разделенные промежутком времени в 1 сек, а параллельные прямые L_2 и L_3 — все те события, которые, с точки зрения того же наблюдателя B , происходят в двух заданных местах, разделенных пространством в 1 фут.

Значит, мы ответили уже на два решающих вопроса из числа тех трех, которые поставлены на стр. 75!

Из равенства между собой тех двух

углов, которые были обозначены на фиг. 50 через Y , следует, что:

НА СХЕМЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ A ЛИНИИ, ИЗОБРАЖАЮЩИЕ ВСЕВОЗМОЖНЫЕ СОБЫТИЯ, ПРОИСШЕДШИЕ, ПО МНЕНИЮ НАБЛЮДАТЕЛЯ B , В ОДНО И ТО ЖЕ ВРЕМЯ, ОБРАЗУЮТ ТАКОЙ ЖЕ УГОЛ С ГОРИЗОНТАЛЬЮ, ЧТО И МИРОВАЯ ЛИНИЯ САМОГО B ОБРАЗУЕТ С ВЕРТИКАЛЬЮ.

Из равенства между собой расстояния между линиями M_1 и M_2 и расстояния между линиями L_2 и L_3 следует, что:

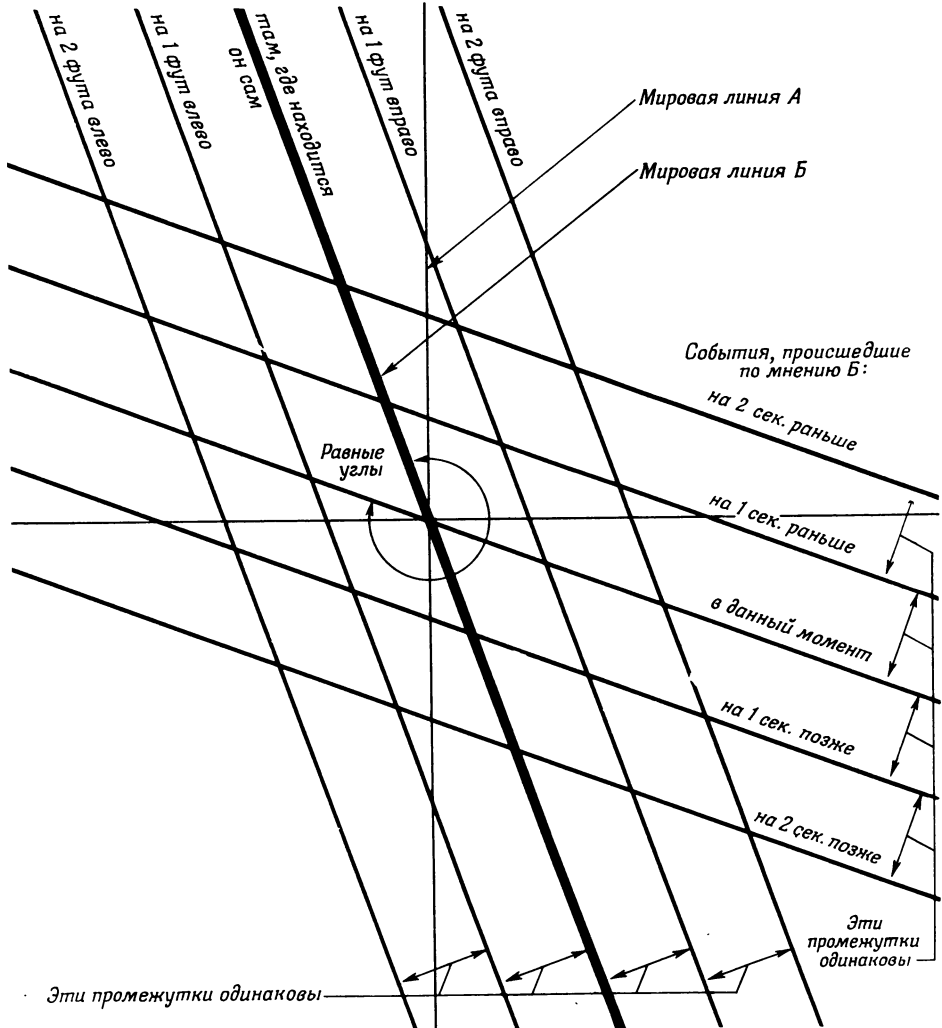
НА СХЕМЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ A РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ТЕМИ ЛИНИЯМИ, КОТОРЫЕ ИЗОБРАЖАЮТ ВСЕВОЗМОЖНЫЕ СОБЫТИЯ, ПРОИСШЕДШИЕ, ПО МНЕНИЮ НАБЛЮДАТЕЛЯ B , В ДАННЫЙ МОМЕНТ, ЧЕРЕЗ 1 СЕКУНДУ, ЧЕРЕЗ 2 СЕКУНДЫ И Т. Д., РАВНЫ РАССТОЯНИЯМ МЕЖДУ ТЕМИ ЛИНИЯМИ, КОТОРЫЕ ИЗОБРАЖАЮТ ВСЕВОЗМОЖНЫЕ СОБЫТИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ, ПО МНЕНИЮ B , В ДАННОМ МЕСТЕ, ПРАВЕЕ НА 1 ФУТ, ПРАВЕЕ НА 2 ФУТА И Т. Д.

Наблюдателю A осталось ответить всего на один вопрос: чему же равно это расстояние между линиями? Оказывается, что и на этот вопрос ответить можно, но лучше сделать пока передышку, разобраться во всем том, что мы уже выяснили, и лишь потом двигаться дальше.

То, что мы уже достоверно знаем о представлениях наблюдателя *Б* о времени и расстоянии, как мы это только что выяснили, выглядит на схеме наблюдателя *А* таким образом:

Ф и г. 51.

События, происходящие по мнению *Б*:



Та система взглядов на пространство и время, которая содержится в фиг. 51 (т. е. точка зрения, утверждающая, что, согласно законам физики, движущийся наблюдатель *Б* не придет к единому мнению с покоящимся наблюдателем *А* о том, какие наборы событий происходят одновременно, причем вместо этого *Б* будет представлять себе время и пространство так, как это изображено на нашем чертеже с помощью наклонных линий), носит название *теории относительности*. Одной из самых блестящих побед человеческого ума было открытие, сделанное Эйнштейном, что такая схема правильна, т. е. что два равномерно движущихся наблюдателя расходятся во взглядах на то, произошли ли два данных события одновременно, причем представления каждого из этих наблюдателей о пространстве и времени одинаково строго обоснованы. Итак, время как количественная величина не является абсолютным свойством Вселенной, оно относительно. Простой факт наклона линий, изображающих наборы тех событий, которые, с точки зрения наблюдателя *Б*, должны считаться происходящими в одно и то же время, — это самый явный переворот в классических представлениях об абсолютном времени, в представлениях, непререкаемо господствовавших веками в умах как философов, так и других ученых. И такой же блестящей, как и сам результат, является кристальная ясность и простота тех доводов Эйнштейна, которые привели к нему.

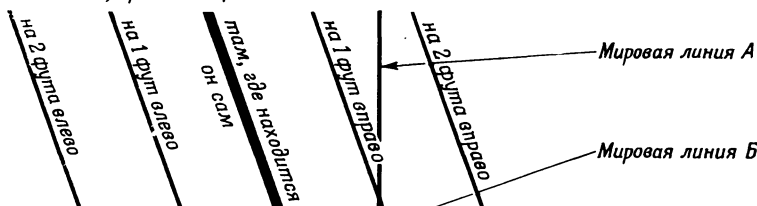
Название «относительность» происходит оттого, что основные выводы этой теории получены при изучении

представлений наблюдателей *A* и *B*, движущихся относительно друг друга.

Здравый смысл пришел к ошибочному выводу, будто расстояние и время — это абсолютные объективные реальности, совершенно одинаковые как для наблюдателя *A*, так и для наблюдателя *B*. Поэтому здравый смысл заставил наблюдателя *A* рисовать вместо правильной схемы (фиг. 51) неправильную схему тех же представлений (фиг. 42). Мы перерисуем фиг. 42, слегка изменив ее, чтобы подчеркнуть, как она отличается от правильной схемы.

Ф и г. 52.

События, происходящие по мнению B:



События, происшедшие по мнению A и B:

на 2 сек. раньше

на 1 сек. раньше

в данный момент

на 1 сек. позже

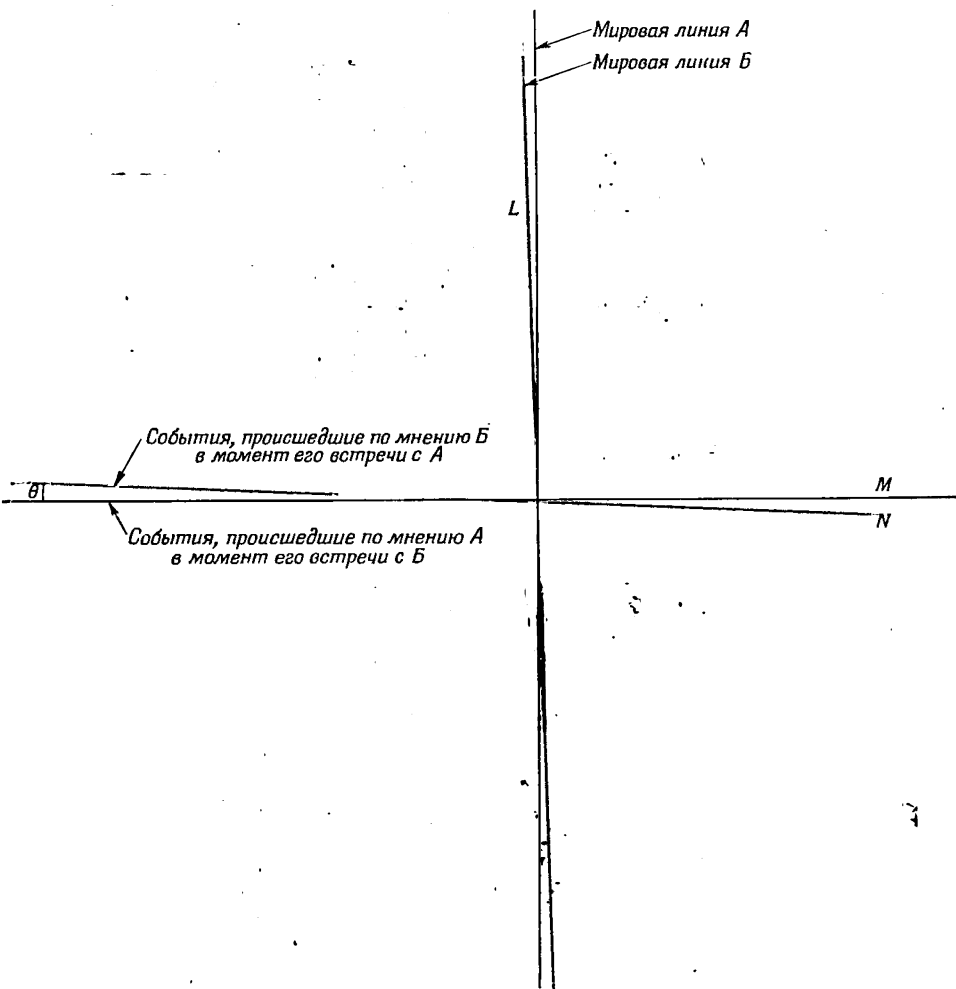
на 2 сек. позже

Поистине различие бросается в глаза! Как же могли не замечать этого в течение стольких веков? Как все могли держаться ошибочных представлений, изображенных на фиг. 52, и не признавать правильных взглядов, изображенных на фиг. 51?

Чтобы получить ответ на этот вопрос, достаточно вспомнить, что под «футом» мы понимаем 300 000 км. Поэтому даже скорость движения нашей Земли по орбите вокруг Солнца — 30 км/сек — составляет незначительную часть — 1 фут/сек — скорости света. В тех единицах, которые мы использовали, скорость Земли равна всего 1/10 000 фут/сек. Перечертим теперь основные линии на схеме фиг. 51, взяв именно такую ничтожно малую скорость наблюдателя *Б*. Ведь в самом деле, мы, как «наблюдатель *А*», вряд ли встретимся

с частицей или с наблюдателем B , скорость которых составит заметную часть от скорости света. Мы видим, что наша схема должна тогда приобрести вид

Ф и г. 53.



На схеме наблюдателя A прямая L , изображающая положение наблюдателя B в последовательные моменты времени, образует лишь малый угол с вертикалью. Прямая N , изображающая те события, которые, по мнению наблюдателя B , произошли в момент его встречи с наблюдателем A , образует точно такой же малый угол с горизонталью.

Ошибка здравого смысла состоит в том, что он не замечает малого угла θ и утверждает, что линия N идет совершенно горизонтально, т. е. совпадает с горизонтальной прямой M .

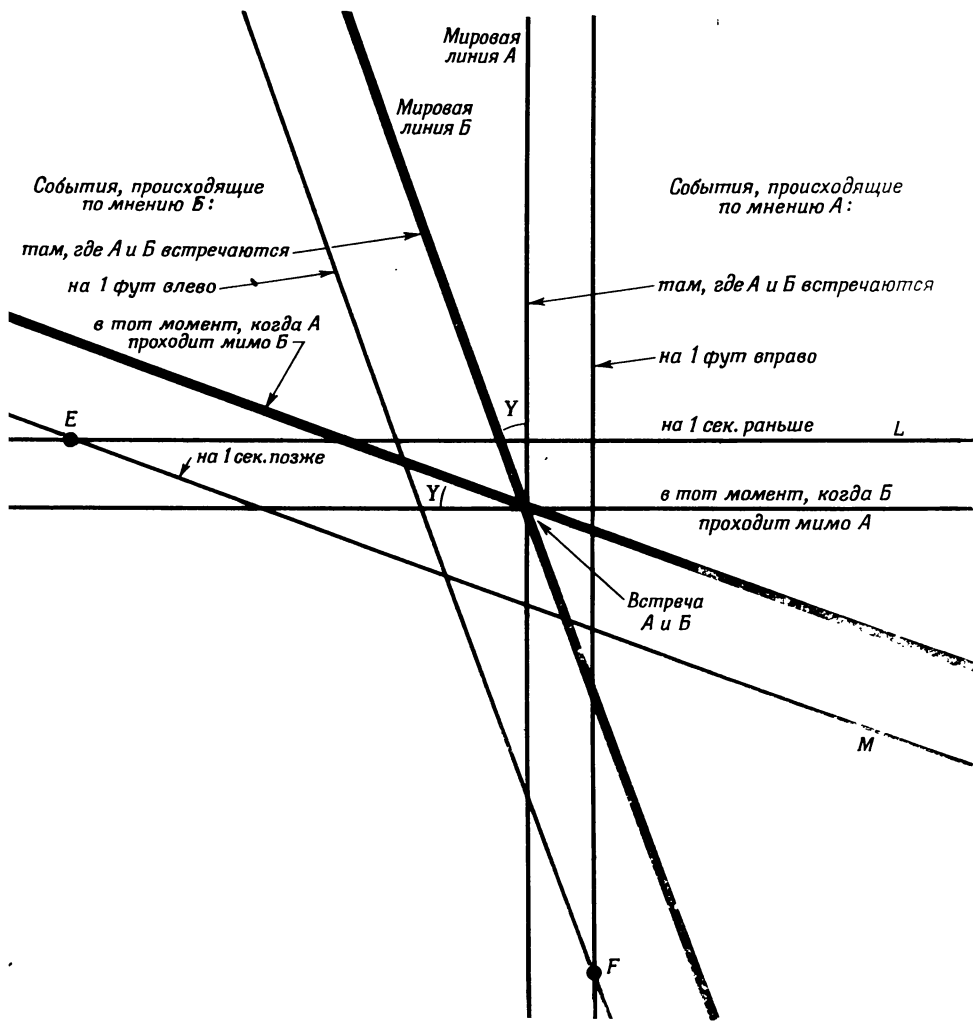
Однако эта линия не строго горизонтальная. Она *почти* горизонтальная, но это будет только в том случае, когда наблюдатель B движется мимо наблюдателя A со скоростью, составляющей лишь ничтожную долю скорости света. Если бы наблюдатель B пролетал мимо A с скоростью, равной заметной части скорости света, прямая N сильно отклонилась бы от горизонтали, т. е. ее было бы невозможно перепутать с горизонтальной прямой M . Это соображение показывает, что время — вовсе не абсолютная объективная реальность, которая будто бы управляет физическим опытом всех наблюдателей идеально в равной мере и о которой все наблюдатели имеют в точности одинаковое представление.

На самом деле, если скорость наблюдателя B относительно наблюдателя A составляет лишь малую часть скорости света, то эти наблюдатели лишь незначительно разойдутся во взглядах на время, в которое произошли различные события. Однако при большой относительной скорости наблюдателя B относительно A это расхождение во взглядах может оказаться весьма существенным.

Обратимся снова к схеме наблюдателя A , изображающей пространство и время, с нанесенными на нее представлениями наблюдателя B , как это сделано на фиг. 51. Проведем линию L , изображающую всевозможные события, происшедшие, по мнению наблюдателя A , за 1 сек до того, как он встретился с наблюдателем B , и проведем еще линию M , изображающую всевозможные события, происшедшие, по

мнению наблюдателя *Б*, через 1 сек после того, как он встретился с наблюдателем *А*. Так как эти две прямые не параллельны друг другу, они должны пересечься в некоторой точке, которую мы назовем *Е*:

Ф и г. 54.



По мнению наблюдателя A , событие E произошло за 1 сек до его встречи с B ; по мнению же наблюдателя B , это же самое событие произошло через 1 сек после его встречи с A ! Отсюда видно, как далеко понятие времени от абсолютной объективной реальности и насколько сильно зависит от скорости равномерно движущегося наблюдателя его представление о времени.

Это не более чудесно, чем тот факт, что наблюдатель A считает событие F происшедшим на 1 фут вправо от той точки в пространстве, где он встретился с наблюдателем B , а наблюдатель B считает это же событие происшедшим на 1 фут влево от той точки в пространстве, где он встретился с наблюдателем A . Естественно, что у двух движущихся относительно друг друга наблюдателей (каждый из которых считает себя покоящимся) окажутся различные представления о том, что такое фиксированная точка пространства! Точно так же оказывается, что у них будут различные представления и о том, что такое фиксированный момент времени!

Как это ясно видно из сравнения правильной схемы на фиг. 51 и неправильной схемы на фиг. 52, время и пространство на самом деле (в правильной схеме) равноправны. Это было бы вовсе не так, если бы была правильной схема фиг. 52, когда наблюдатели A и B имеют различные мнения о том, в одном или в разных местах происходят два события, но сходятся во мнениях относительно времени, когда события произошли. В действительности их мнения должны расходиться в обоих случаях, и это расхождение во мнениях вследствие

относительного движения наблюдателей правильно изображено на фиг. 51. Кроме того, само собой ясно, что именно из-за своего относительного движения различные наблюдатели, равномерно движущиеся с разными скоростями, будут расходиться во мнениях о том, случились ли два происшедшие в разное время события в одном и том же месте или нет. Более того, так как все эти различные наблюдатели находят, что их физический опыт содержит только общие для всех них физические законы, и нет никаких оснований считать, что кто-то из них более прав, а кто-то ошибается, то совершенно ясно, что просто бессмысленно спрашивать, случились ли два происшедших в разное время события «действительно» в одном и том же месте или нет. С точки зрения одних наблюдателей, это так, с точки зрения других — нет. Следовательно, понятие «объективно данной точки в пространстве» не может быть определено, кроме как совершенно произвольным образом. Два разных равномерно движущихся наблюдателя будут не больше и не меньше согласны друг с другом в отношении того, произошли ли два случившихся в разных местах события «действительно» в один и тот же момент времени или нет, как и в отношении того, случились ли два происшедших в разное время события «действительно» в одном и том же месте или в двух разных местах. Понятие «объективно данного момента времени» не может быть определено, кроме как совершенно произвольным образом — не лучше и не хуже, чем понятие «объективно данной точки в пространстве».

И если все это кажется само собой разумеющимся, когда мы говорим о пространстве, но оказывается удивительным и обескураживающим лишь мы переходим ко времени, то в этом повинен только тот факт, что образ мыслей большинства людей сформировался в духе схемы, предложенной здравым смыслом на фиг. 52, вместо того чтобы руководствоваться правильной схемой фиг. 51. А это — плохой образ мыслей. Правильный чертеж не менее логичен и не более сложен, чем ошибочный, а так как он к тому же включает время и пространство на равных правах, то он более симметричен, а следовательно, и красив. После того как мы так долго следовали плохому образу мыслей в духе ошибочной схемы, переход к правильной схеме требует определенной тренировки. Но это ведь целиком зависит от нас!

ВНИМАНИЕ: НЕ СДЕЛАЙТЕ ОШИБКИ!
Хотя разные равномерно движущиеся наблюдатели считают различные наборы событий происходящими в одном месте или одновременно друг с другом, все же не следует думать, что время и пространство — просто субъективные иллюзии или что движущийся наблюдатель получает искаженное, «субъективное», впечатление о пространстве и времени. Не следует также думать, что, когда мы говорим о «событиях, которые, с точки зрения наблюдателя *A*, произошли в одно и то же время», или о «событиях, которые, по мнению наблюдателя *B*, происходят в одном и том же месте», мы вкладываем в понятие «точки зрения» или «мнения» наблюдателей *A* и *B* что-

то необъективное. Вовсе нет; оба наблюдателя приходят к своим количественным представлениям о времени и пространстве совершенно одинаковым способом — оба исходят из самого точного и объективного анализа своего собственного физического опыта, как это обсуждалось на стр. 9—15.

Эти представления объективны в том смысле, в каком только и можно говорить об объективности какого-либо научного понятия — в том смысле, что данное представление выводится из истинных фактов физического опыта, причем полученные таким образом представления в свою очередь приводят факты этого физического опыта в стройную и ясную систему. Двигаясь относительно друг друга, наблюдатели *A* и *B*, естественно, несколько по-разному подходят к событиям, составляющим их общий физический опыт. Поэтому совершенно очевидно, что те представления о времени и пространстве, которые извлекает наблюдатель *A* из своего физического опыта и которые объективно управляют всем его опытом, должны несколько отличаться от тех представлений о времени и пространстве, которые объективно управляют всем опытом наблюдателя *B*. И время, и пространство — это объективные понятия, которые правильно описывают физически разумный опыт каждого из наблюдателей. Вместе с тем утверждения вроде «события *E* и *F* произошли в одном и том же месте в разное время» или «события *E* и *F* произошли в разных местах в один и тот же момент» просто-напросто не могут иметь абсолютного смысла вне зависимости от того, какой наблюда-

тель их формулирует. Здравый смысл превосходно разбирается в том, почему правильность или ложность второго из этих утверждений зависит от движения наблюдателя, делающего такое утверждение, и этот же здравый смысл должен научиться правильно разбираться также в том, что справедливость или ложность первого из этих утверждений точно так же зависит от движения наблюдателя, делающего это утверждение! Понятие «в тот же момент» не более абсолютно, чем понятие «в том же месте».

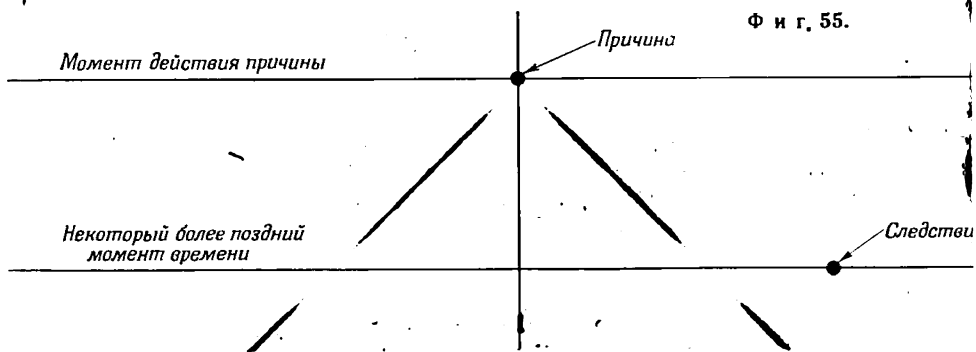
Мы можем теперь заметить, что этот факт, установленный еще на стр. 91—99, влечет за собой удивительные последствия. Время и пространство не абсолютны. Что абсолютно — в смысле своего единства для всех наблюдателей — так это физические законы. Гарантию этого дает Закон относительности для равномерного движения. Напомним, что этот закон подвергся строжайшей опытной проверке. В самом деле, при движении нашей Земли, когда за год она обегает по своей орбите Солнце, не наблюдается никаких сезонных изменений физических законов. Этот факт был особенно точно подтвержден экспериментом Майкельсона — Морли. Итак, мы знаем, что представления о пространстве и времени двух равномерно движущихся наблюдателей связаны друг с другом так, как это показано на фиг. 51. Раз это так, то ЗАКОН ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ УТВЕРЖДАЕТ, ЧТО ВСЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ДОЛЖНЫ ВЫГЛЯДЕТЬ ОДИНАКОВО ДЛЯ ТАКИХ ДВУХ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ КОТОРЫХ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ СВЯЗАНЫ МЕЖДУ СОБОЙ, КАК ЭТО ПОКАЗАНО НА СХЕМЕ ФИГ. 51.

Пусть какие-то законы физики выглядят одинаково для двух наблюдателей, представления которых о пространстве и времени связаны между собой согласно правильной схеме фиг. 51. Однако ведь ясно, что все эти законы никак не могут вместе с тем выглядеть одинаково, если на них взглянуть с точки зрения двух придуманных наблюдателей, представления которых о пространстве и времени связаны между собой согласно схеме здравого смысла, приведенной на фиг. 52. Поэтому следует ожидать, что наше новое понимание того, как пространство и время управляют физическим опытом различных равномерно движущихся наблюдателей, обязательно приведет нас и к новым законам физики — другим, а не ньютоновым, потому что Ньютон устанавливал свои законы, предполагая, что время и расстояние — абсолютные реальности.

И время, и пространство, которые сами были взяты из физического опыта, в то же время являются краеугольным камнем всех физических законов. Найдя, что эти основные понятия вовсе не такие, какими их изображал здравый смысл, следует ожидать, что и структура физических законов, построенных на их основе, не такая, как это думали раньше. Именно это заключение позволило Эйнштейну увенчать свой революционный пересмотр понятия абсолютного математического времени столь же революционными открытиями в физике. Проследив его путь к открытию фундаментальной схемы, изображенной на фиг. 51, мы пойдем по этому пути дальше и очень скоро выведем некоторые из открытых им знаменитых физических законов.

Из указанного выше общего принципа можно получить одно из самых замечательных утверждений теории относительности.

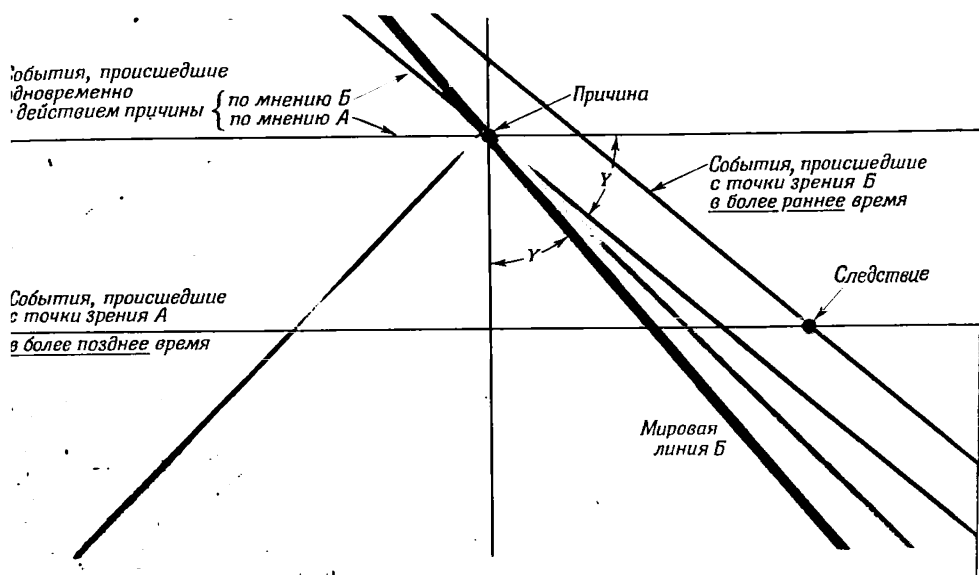
Представим себе, что на основании какого-то физического закона некоторый наблюдатель *A* сделал заключение, что определенная причина, действовавшая в заданный момент времени и в данной точке пространства, приводит к определенному следствию в какой-то более поздний момент на некотором расстоянии от этой точки. Допустим, что следствие обнаружилось так далеко (согласно представлениям наблюдателя *A* о пространстве), что световой луч, испущенный в то же время и в том же месте, когда и где действовала наша причина, придет к месту проявления следствия лишь после того, как это следствие совершится. Такая ситуация может быть представлена на схеме наблюдателя *A* следующим образом:



Наблюдатель *A* может спросить себя: как будет выглядеть та же картина с точки зрения наблюдателя *B*, движущегося относительно *A*?

щегося со скоростью, лишь ненамного меньшей скорости света? Так как наблюдатель *A* уже знает представления наблюдателя *B* о пространстве и времени (см. фиг. 51), то он может получить ответ на этот вопрос, нарисовав следующую схему:

Ф и г. 56.



Раз наблюдатель *B* движется относительно *A* со скоростью, почти равной скорости света, его мировая линия на схеме наблюдателя *A* будет изображаться как прямая, наклон которой к горизонтали лишь ненамного превышает 45 град. Мы знаем, что на схеме наблюдателя *A* линии, изображающие наборы событий, происшедших, с точки зрения наблюдателя *B*, в один и тот же момент времени, образуют тот же угол

с вертикалью, что и мировая линия наблюдателя *Б* с горизонталью. Эти прямые линии, следовательно, наклонены к горизонтали немного меньше, чем на *45 град.* Заметим теперь, что на схеме наблюдателя *А* точка, изображающая время и место проявления следствия, лежит вне угла, образованного двумя прямыми, которые выходят из точки, изображающей время и место действия причины, и имеют наклон в *45 град.* Тогда линия, изображающая всевозможные события, происшедшие, с точки зрения наблюдателя *Б*, одновременно с действием причины, вполне может пройти ниже точки, изображающей следствие.

Значит, с точки зрения наблюдателя *Б*, такое следствие произошло еще до того, как подействовала причина! Физические законы отрицают такую возможность. Однако тот физический закон, о котором мы говорили и из действия которого исходил наблюдатель *А*, когда сделал заключение о причинной связи событий (причины и следствия), неизбежно приведет к такому невозможному выводу наблюдателя *Б*. Значит, невозможен сам этот закон. Иными словами:

Не может существовать такого физического закона, на основании которого причина, действующая в данный момент в данной точке, способна привести к следствию на некотором расстоянии еще до того, как луч света, испущенный в момент появления причины из точки ее действия, достигнет места обнаружения следствия.

Не может быть такого физического закона, на основании которого причина, действующая в данном месте, способна произвести следствие в другом месте в тот же самый момент времени.

Вспомним Закон всемирного тяготения Ньютона. Согласно ему, действующая со стороны одного тела на другое гравитационная сила зависит лишь от расстояния между этими телами, так что тело «замечит» изменение гравитационной силы в тот же самый момент, как другое тело (источник силы) изменит свое положение. Значит, ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ НЬЮТОНА НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ПРАВИЛЬНЫМ. Обнаружив этот факт, Эйнштейн занялся отысканием правильного закона тяготения и пришел таким образом к той теории гравитации, которую мы называем *общей теорией относительности*. Эта теория слишком сложна, чтобы ее можно было излагать здесь, но все же интересно было узнать, по какой именно причине Эйнштейн взялся за поиски как раз этой теории!

Вот другое выражение, которое иногда дают сформулированному только что принципу:

Мгновенное воздействие на расстоянии не может быть произведено никаким способом.

Полученные принципы играют огромную роль в физике, так как сразу позволяют отбросить без дальнейшего рассмотрения многие предлагаемые теории.

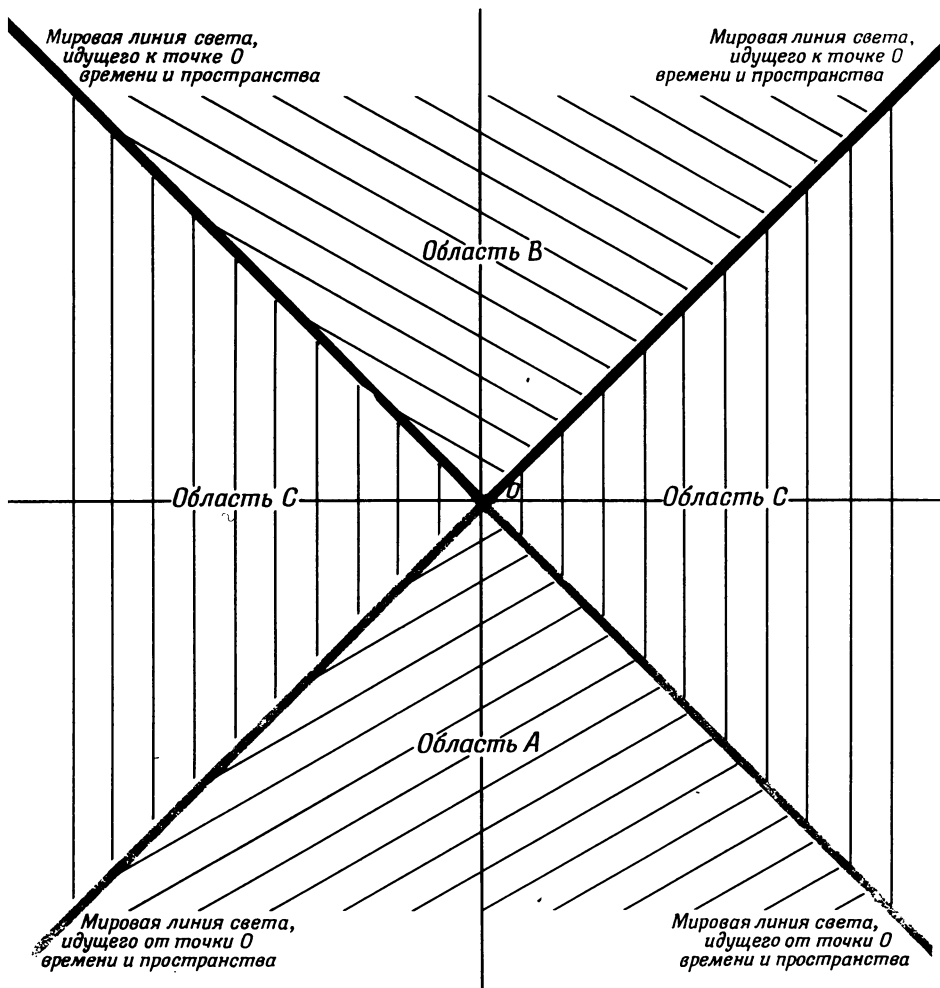
Вот другой интересный пример. Если взять абсолютно твердый стержень и потянуть его за один конец, то другой конец должен начать двигаться одновременно с этим. Однако это было бы примером мгновенного воздействия на расстоянии. Значит, *абсолютно твердых тел не может существовать в природе.*

Следовательно, всякий реальный стержень должен несколько деформироваться (изгибаться, сжиматься, растягиваться, закручиваться), если мы сдвинем один из его концов, и эта деформация будет бежать вдоль стержня подобно волне по поверхности воды, причем противоположный конец стержня начнет двигаться лишь через некоторое время, когда «волна деформации» пройдет всю длину стержня. Точно так же и тяготение должно распространяться подобно волне от тела, являющегося его источником.

Полезно графически выразить тот общий принцип, который мы на словах сформулировали на стр. 116. Это можно

сделать с точки зрения любого наблюдателя, рассматривающего пространство и время:

Ф и г. 57.



Если из точки O провести в какую-нибудь точку в области S прямую линию, то ее наклон будет меньше 45 град. Значит, если бы точка O служила местом положения причины для какого-то следствия, происходящего где-то в области S , то это следствие должно было бы наступить еще до того, как свет от вспышки из точки O достигнет места следствия. Мы уже видели, что это невозможно. Таким образом, общий принцип, сформулированный на стр. 116, говорит, что ничто происходящее в то время и в том месте, которые отмечены точкой O , не может привести ни к каким следствиям вне области A . Точно по тем же причинам ничто, происходящее в области пространства и времени, лежащей вне области B , не способно произвести следствия в точке O . То, что происходит в области времени и пространства S , не может поэтому ни подействовать на событие в точке времени и пространства O , ни само подвергнуться воздействию того, что произошло в этой точке.

В частности, из точки O в какую угодно точку области S не может пройти ни волна, ни какая бы то ни было физическая частица. Таким образом:

Никакая физическая частица или волна не может двигаться со скоростью, большей скорости света.

Следовательно, скорость света — это наибольшая достижимая скорость.

Это один из самых знаменитых результатов Эйнштейна.

Не мешало бы здесь остановиться и указать на два ошибочных вывода, которые часто делают, говоря о теории относительности. Первый вывод состоит в том, что считают, будто теория относительности делает предположение о невозможности двигаться со сверхсветовыми скоростями и что она построена, исходя из этого предположения. При этом утверждают, будто с тем же успехом можно было бы построить не менее разумную теорию, предположив невозможность движения со сверхзвуковой скоростью. Неверно! Мы вовсе не предположили, а *именно доказали*, что движение со сверхсветовыми скоростями невозможно, совершенно так же, как мы не предположили, а доказали, что Закон всемирного тяготения Ньютона неверен. Единственное, что мы приняли с самого начала,— это результат эксперимента Майкельсона—Морли, т. е. что всякий равномерно движущийся наблюдатель находит одну и ту же величину скорости распространения света во всех направлениях. Но почему то же самое нельзя предположить и насчет звука? Просто потому, что в случае звука это совсем не так! Летчик на реактивном самолете обнаруживает по звуку ударной волны позади него, что она не может ни догнать, ни перегнать его. Напротив, из всего сказанного ясно, что пассажир ракетного корабля,

как бы стремительно он ни летел, всегда будет отмечать, что свет от вспышки позади него догоняет и перегоняет его ракету, и притом всегда с той же скоростью. Такая особая роль скорости света — вовсе не выдумка Эйнштейна, а факт, реально существующий в природе.

Вот другой ошибочный вывод. Иногда представляют себе, будто между выводами теории относительности и следствиями обычных представлений, что пространство и время выглядят совершенно одинаково для всех наблюдателей, существуют лишь малые различия, никогда не превышающие ничтожных долей процента. Это верно лишь до тех пор, пока мы оперируем с частицами и наблюдателями, скорости которых намного меньше скорости света, как это всегда бывает в обыденной жизни. Однако если взять частицы, движущиеся с околосветовыми скоростями, то тут теория относительности предсказывает на самом деле настолько заметные эффекты, что мимо них пройти уже невозможно. Например, теория относительности предсказывает, что движущаяся частица становится тем тяжелее, чем больше ее скорость. Можно даже показать, что, когда скорость частицы приближается к скорости света, вес частицы возрастает неограниченно (на стр. 152 мы будем еще немного говорить об этом явлении). На большом ускорителе атомных частиц, строящемся в Брукхэйвене, эти частицы будут разгоняться до 99,98 %

скорости света, и после такого ускорения каждая из них станет *тяжелее в пятьдесят раз*.

Ни один инженер уже не сможет построить такой ускоритель, не учитывая правильных выводов теории Эйнштейна о свойствах времени и пространства (изображенных на фиг. 51), точно так же как ни один инженер не сможет построить гоночной машины, способной развить скорость 300 миль/час, если ему взбредет в голову, что колеса должны быть квадратными. В наши дни открытия Эйнштейна превратились в азбуку особого инженерного дела, и каждое устройство, работающее на их принципах, снова и снова уверенно доказывает правильность теории Эйнштейна. Эксперименту Майкельсона—Морли отводится, по сути, лишь место первого открытия, подтверждающего правильность теории относительности. Сегодня мы знаем громадное число подтверждений этой теории. И уж во всяком случае нельзя думать, будто теория относительности висит на тонком волоске надежды на то, что Майкельсон и Морли в своем эксперименте не допустили ошибки в несколько десятых процента.

Однако вот один пример, создающий впечатление, будто можно двигаться быстрее света в нарушение закона, открытого Эйнштейном.

Предположим, что наблюдатель *B* пролетает мимо наблюдателя *A* со скоростью, равной $\frac{3}{4}$ скорости света, тогда

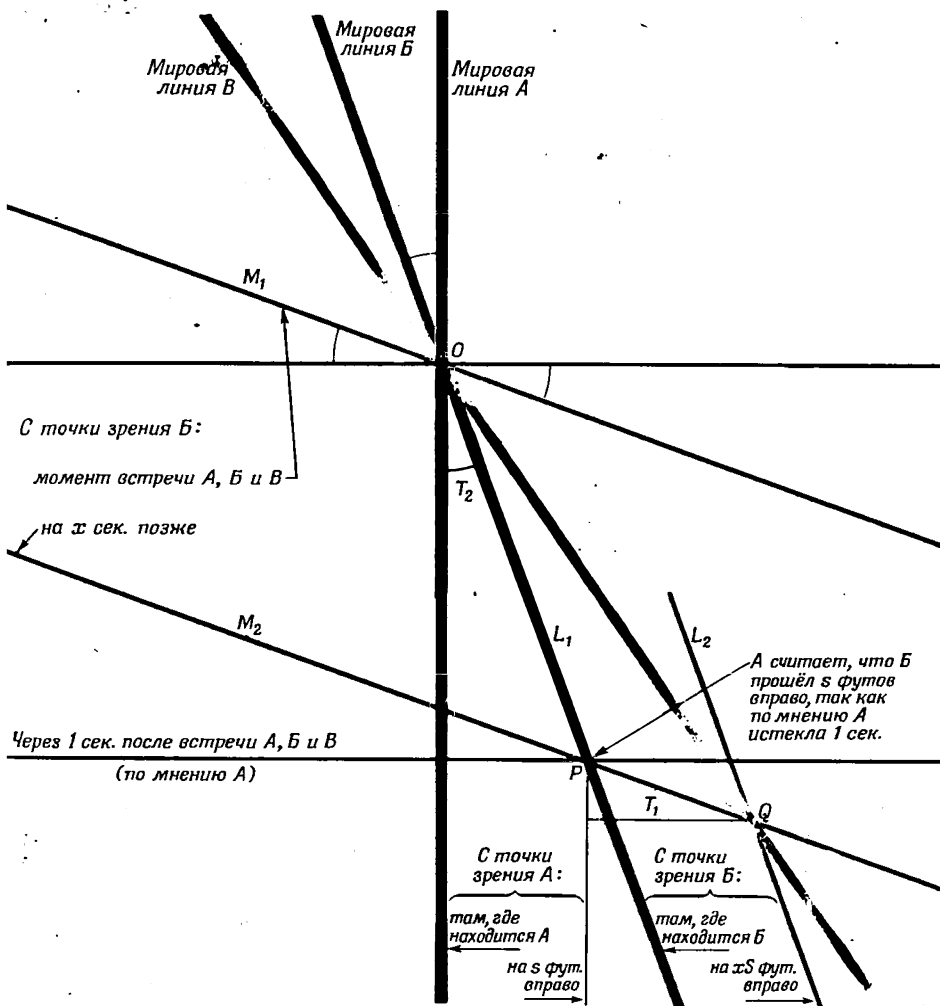
как другой наблюдатель B пролетает мимо наблюдателя B в том же направлении и с такой же скоростью. Не окажется ли, что наблюдатель B движется тогда относительно наблюдателя A с недопустимой скоростью, в полтора раза большей скорости света? Такое ошибочное заключение основывается на том же здравом смысле — неправильном понимании времени и пространства. Чтобы узнать, как все будет на самом деле, нужно думать в терминах правильной схемы, изображенной на фиг. 51. Мы пойдем по этому пути и получим теперь новый общий результат. Предположим, что существуют три равномерно движущихся наблюдателя — A , B и V . Пусть все трое встречаются одновременно, причем, с точки зрения наблюдателя A , считающего себя покоящимся, наблюдатель B движется слева направо со скоростью s , а с точки зрения наблюдателя B , считающего себя покоящимся, наблюдатель V движется слева направо со скоростью S . Как «складываются» эти две скорости, т. е. чему равна скорость, с которой наблюдатель V движется, по мнению наблюдателя A ?

Чтобы найти ответ на этот вопрос, наблюдатель A должен немного разбираться в основах геометрии.

Зная представления наблюдателя B о пространстве и времени, как они изображены на фиг. 51, наблюдатель A

может изобразить на своей схеме событий все происходящее следующим образом:

Ф и г. 58.



Так как наблюдатель B движется относительно наблюдателя A со скоростью s , его мировая линия, изображаемая прямой L_1 , имеет наклон l к s . Кроме того, с точки зрения B , наблюдатель V движется слева направо со скоростью S , и если, по мнению B , события, лежащие на двух прямых M_1 и M_2 , разделены промежутком времени в несколько (x) секунд, то B должен считать, что за этот промежуток времени наблюдатель V прошел путь, равный x раз по S , т. е., как пишется в алгебре, xS фут вправо. Значит, наблюдатель A знает, что, с точки зрения B , события, лежащие на линиях L_1 и L_2 , разделены расстоянием в xS фут.

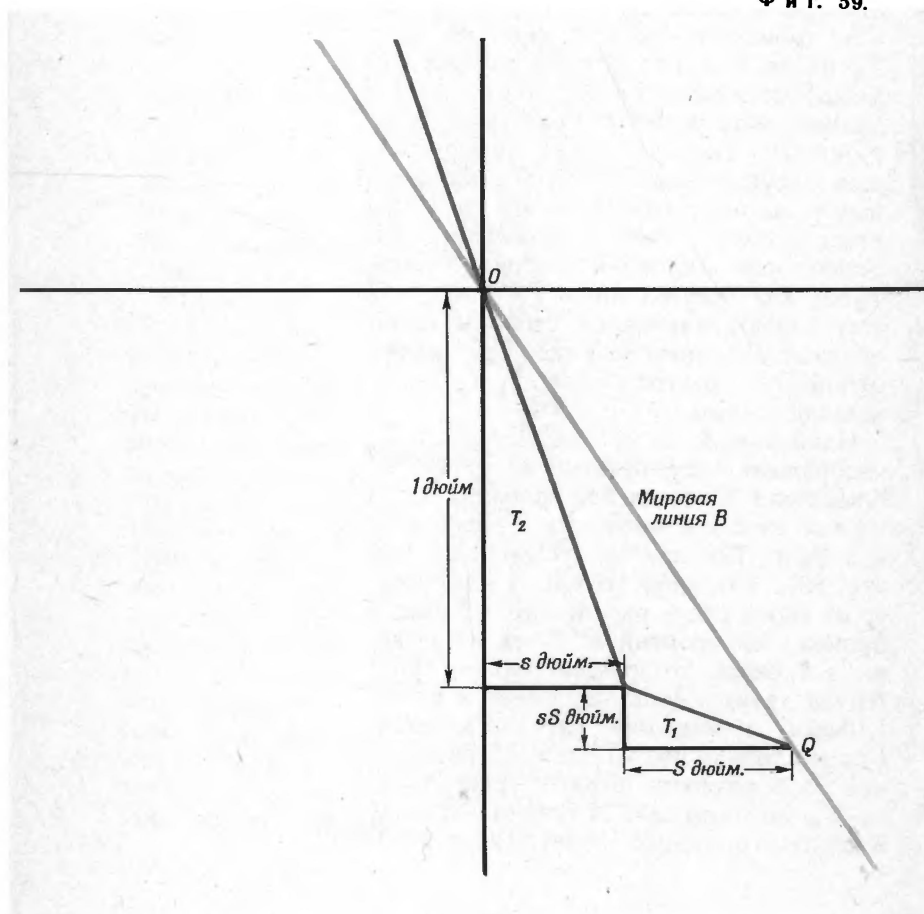
Кроме того, как это показано на стр. 98, наблюдатель A знает, что и интервалы времени, равные 1 сек, с точки зрения наблюдателя B , и отрезки длины, равные, по мнению B , 1 фут, соответствуют на его, наблюдателя A , схеме одинаковым расстояниям между соответствующими линиями. Отсюда видно, что так как, по мнению наблюдателя B , на линии M_1 и M_2 ложатся события, разделенные промежутком времени в x сек, а на линии L_1 и L_2 — события, разделенные расстоянием в xS фут, то на схеме наблюдателя A расстояние между прямыми L_1 и L_2 должно быть равно умноженному на S расстоянию между прямыми M_1 и M_2 . Линии M_1 , M_2 и L_1 образуют такой же угол с вертикалью, что и линии L_1 , L_2 и M_2 с ори-

зонталью; в свою очередь линия M_2 образует с вертикалью такой же угол, какой образует с горизонталью линия L_1 . Поэтому линия M_2 пересекает параллельные прямые L_1 и L_2 под тем же самым углом, что и линия L_1 пересекает параллельные прямые M_1 и M_2 . Так как промежуток между линиями L_1 и L_2 ровно в S раз больше промежутка между линиями M_1 и M_2 , то отрезок PQ должен быть ровно в S раз длиннее отрезка OP . Так как у двух прямоугольных треугольников T_1 и T_2 наименьшие углы точно равны, то эти треугольники должны быть подобными. Мы знаем, что наклонная сторона (гипотенуза) PQ треугольника T_1 ровно в S раз больше наклонной стороны (гипотенузы) OP треугольника T_2 ; значит, отношение треугольников T_1 и T_2 должно составлять как раз $S:1$.

Наибольший катет треугольника T_2 изображает 1 сек времени на схеме наблюдателя A , тогда как меньший катет на той же схеме изображает расстояние в s фут. Так как мы условились (см. стр. 89), что наблюдатель A изображает на своей схеме расстояние в 1 фут и промежуток времени в 1 сек отрезками в 1 дюйм, то, следовательно, гипотенуза треугольника T_2 имеет в длину 1 дюйм, а меньший катет — s дюйм. Как мы только что убедились, треугольник T_1 в точности подобен треугольнику T_2 , но изменен в пропорции S к 1. Значит, гипотенуза треугольника T

равна S дюйм, а его меньший катет составлен S раз по s , т. е. sS дюйм. Поэтому наши треугольники имеют следующий вид:

Ф и г. 59.



Ясно, что точка Q расположена на $1 + sS$ дюйм ниже точки O и на $s + S$ дюйм правее ее. Значит, точка Q изображает событие, происшедшее, с точки зрения наблюдателя A , на $1 + sS$ сек позднее события O , т. е. через $1 + sS$ сек после того, как наблюдатели A , B и V встретились все разом. При этом событие O произошло на $s + S$ фут правее точки встречи наблюдателей A , B и V . Значит, с точки зрения наблюдателя A , получается, что V прошел $s + S$ фут вправо за $1 + sS$ сек. Поскольку скорость — это отношение пути к тому времени, за которое этот путь был пройден, то скорость наблюдателя V , с точки зрения наблюдателя A , равна просто

$$\frac{s + S}{1 + sS}.$$

Таким образом,

Если, с точки зрения одного равномерно движущегося наблюдателя A , другой равномерно движущийся наблюдатель B перемещается мимо него с некоторой скоростью s (в единицах скорости света), а частица V движется мимо наблюдателя B (по мнению B) с некоторой скоростью S (в единицах скорости света), то, с точки зрения наблюдателя A , эта же частица V движется со скоростью

$$\frac{s + S}{1 + sS}$$

(в единицах скорости света).

Наше основанное на здравом смысле представление о сложении скоростей требует отбросить в этой дроби знаменатель и брать просто сумму $s + S$ тех скоростей, которые наблюдают соответственно B и A . Но это было бы лишь очередной ошибкой, вытекающей из той основной ошибки, будто и наблюдатель A , и наблюдатель B одинаково подходят ко времени и к расстоянию.

Посмотрим теперь, что дает только что найденная формула, если наблюдатель B пролетает мимо A со скоростью, составляющей $\frac{3}{4}$ скорости света, а наблюдатель V пролетает мимо B со скоростью, составляющей тоже $\frac{3}{4}$ скорости света. Тогда наблюдатель V должен пролетать мимо A со скоростью, равной

$$\begin{aligned} \frac{\frac{3}{4} + \frac{3}{4}}{1 + \frac{3}{4} \cdot \frac{3}{4}} &= \frac{\frac{3}{2}}{\frac{25}{16}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{16}{25} = \\ &= \frac{24}{25} = 96\% \end{aligned}$$

скорости света. Оказалось, что мы напрасно боялись, складывая два раза по $\frac{3}{4}$ скорости света, получить в результате скорость больше световой! На самом деле, если даже наблюдатель B движется относительно A со скоростью в $\frac{9}{10}$ скорости света, а наблюдатель V относительно B тоже со скоростью в $\frac{9}{10}$ скорости света, то, согласно нашей формуле, наблюдатель V движется относительно A со скоро-

стью, равной в единицах скорости света

131

$$\frac{\frac{9}{10} + \frac{9}{10}}{1 + \frac{9}{10} \cdot \frac{9}{10}} = \frac{\frac{18}{10}}{\frac{181}{100}} = \frac{180}{181}$$

Если бы на одной частице (*B*), разогнанной Брукхэйвенским ускорителем до 99,98 % скорости света, установить движущийся вместе с ней такой же мощный ускоритель, который разогнал бы вторую частицу (*B*) также до 99,98 % скорости света, то относительно наблюдателя *A*, сидящего около первого ускорителя, частица *B* двигалась бы со скоростью, равной в единицах скорости света

$$\frac{0,9998 + 0,9998}{1 + (0,9998) \cdot (0,9998)} = 0,99999996.$$

Теперь совершенно ясно, почему верен сделанный нами вывод о том, что *никакая частица не может достигнуть скорости света*. Ведь даже когда скорость света уже «почти» достигнута, оставшийся «ничтожный кусочек» скорости так же трудно добавить, как было трудно получить полную скорость света сразу же, с первого шага. Достаточно ясно также, что при околосветовых скоростях разница между правильными результатами теории относительности и точкой зрения здравого смысла становится очень заметной.

Насколько велика, однако, разница между правильными результатами теории относительности и точкой зрения

здорового смысла в обыденной жизни? Допустим, например, что мимо фонарного столба в противоположных направлениях по автостраде проезжают две автомашины, причем каждая из них со скоростью 60 км/час. Какая скорость будет тогда у одной машины относительно другой? Ведь 60 км/час — это 1 км/мин, или $\frac{1}{60}$ км/сек, т. е.

$$\frac{1}{60 \cdot 300\,000} = \frac{1}{18\,000\,000}$$

часть скорости света. Значит, наши две машины движутся относительно друг друга со скоростью, равной

$$\frac{\frac{1}{(60)(300\,000)} + \frac{1}{(60)(300\,000)}}{1 + \frac{1}{(60)(60)(300\,000)(300\,000)}}$$

в единицах скорости света, т. е.

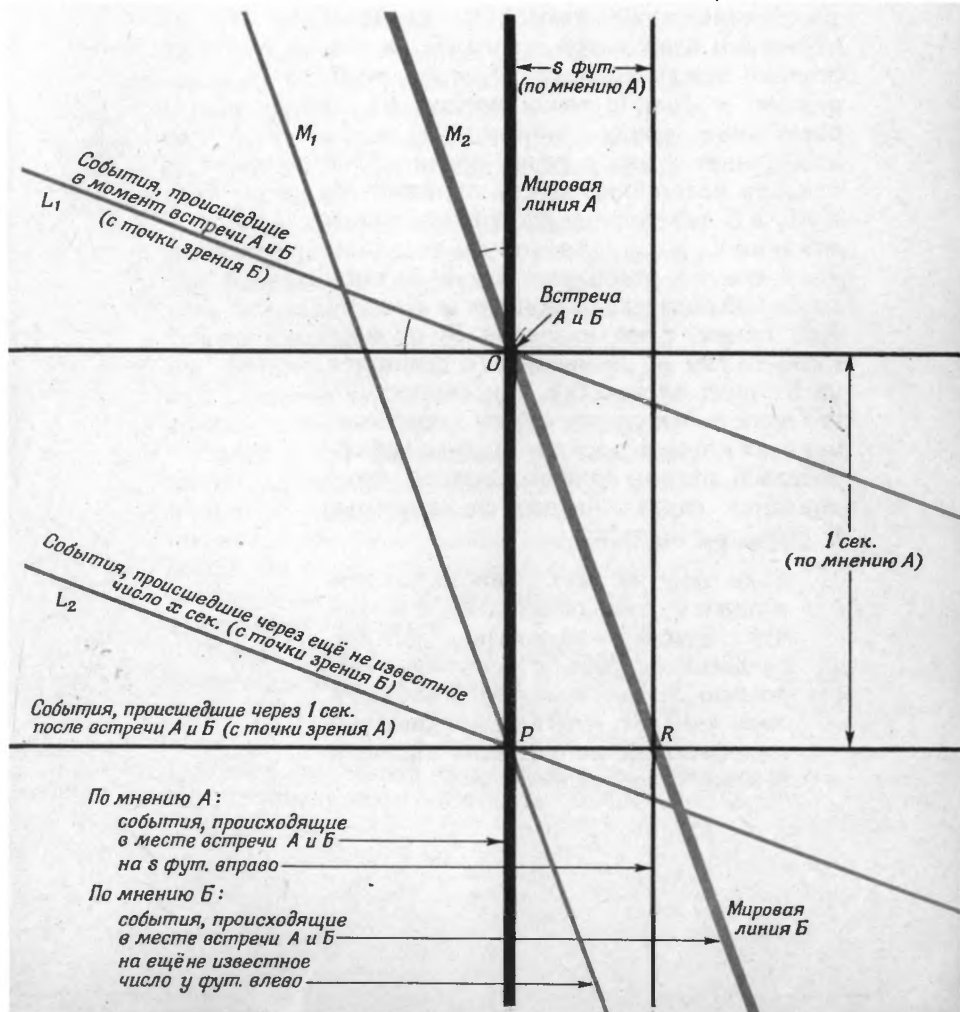
$$\frac{120}{1 + \frac{1}{(60)(60)(300\,000)(300\,000)}} = 119,99999999999996 \text{ км/час}.$$

В этом случае ответ здравого смысла, что сумма скоростей равна «120 км/час», весьма близок к истине.

Каждый из двух равномерно движущихся наблюдателей считает себя покоящимся, а своего партнера — движущимся. В этом смысле положение таких двух наблюдателей совершенно симметрично. Ради успеха наших дальнейших рассуждений важно показать, что положение наблюдателей симметрично во всех отношениях вообще. Займемся этим вопросом и рассмотрим

двух равномерно движущихся наблюдателей A и B , причем, с точки зрения A , наблюдатель B пусть движется слева направо со скоростью S фут/сек. С какой скоростью движется тогда наблюдатель A по мнению B ? Наблюдатель A может это узнать с помощью схемы на фиг. 51, если он рассмотрит линии, изображенные таким образом (здесь прямые M_1 и L_2 обе проходят через точку P):

Ф и г. 60.



Параллельные прямые L_1 и L_2 образуют такой же угол с вертикалью, что и параллельные прямые M_1 и M_2 с горизонталью. Значит, отрезок OP пересекает линии L_1 и L_2 под тем же углом, что и отрезок PR пересекает линии M_1 и M_2 . Так как отрезок PR ровно в S раз больше отрезка OP , то расстояние между линиями M_1 и M_2 должно быть ровно в S раз больше расстояния между линиями L_1 и L_2 . Кроме того, наблюдатель A знает, что, с точки зрения B , и секунда времени, и фут расстояния изображаются на схеме A отрезками одинаковой длины. Если расстояние между линиями M_1 и M_2 изображает y фут (с точки зрения B), а расстояние между линиями L_1 и L_2 изображает x сек (с точки зрения B) и так как расстояние между линиями M_1 и M_2 в S раз больше расстояния между линиями L_1 и L_2 , то ясно, что величины y и x стоят в отношении S к 1. Значит, когда наблюдатель A попадет в точку P этой схемы, с точки зрения B , пройдет x сек, то сам A , по мнению B , сдвинется на Sx фут влево. Так как скорость — это просто отношение пути к тому времени, за которое пройден путь, то наблюдатель B должен прийти к выводу, что A движется справа налево со скоростью S фут/сек. Значит:

Если один из двух равномерно движущихся наблюдателей считает, что другой наблюдатель движется слева направо с некоторой скоростью S , то этот второй наблюдатель считает, что первый движется относительно него справа налево с той же самой скоростью S .

В этом случае, оказывается, здравый смысл был вполне прав. Можно и другим способом показать, что мы должны были прийти именно к такому выводу. Рассмотрим снова двух равномерно движущихся наблюдателей A и B . Предположим теперь, что, с точки зрения A , наблюдатель B движется со скоростью S , а, с точки зрения B , наблюдатель A движется с несколько меньшей скоростью s . Тогда наблюдатель A мог бы, пользуясь таким несоответствием, доказывать наблюдателю B , что именно он, A , действительно покоится, а B действительно движется. Так как, по мнению B , скорость наблюдателя A меньше скорости самого B , с точки зрения A , то наблюдатель B должен был признать, что в словах A содержится доля истины.

Однако Закон относительности для равномерного движения утверждает, что равномерно движущийся наблюдатель в принципе не может обнаружить своего движения, и поэтому мы должны принять, что $s = S$. Это то же самое заключение, к какому мы пришли другим путем на предыдущей странице.

Более того, положение двух равномерно движущихся наблюдателей должно быть симметричным во всех отношениях, так как любая асимметрия могла бы служить доводом для одного из них в пользу того, что только он действительно покоится.

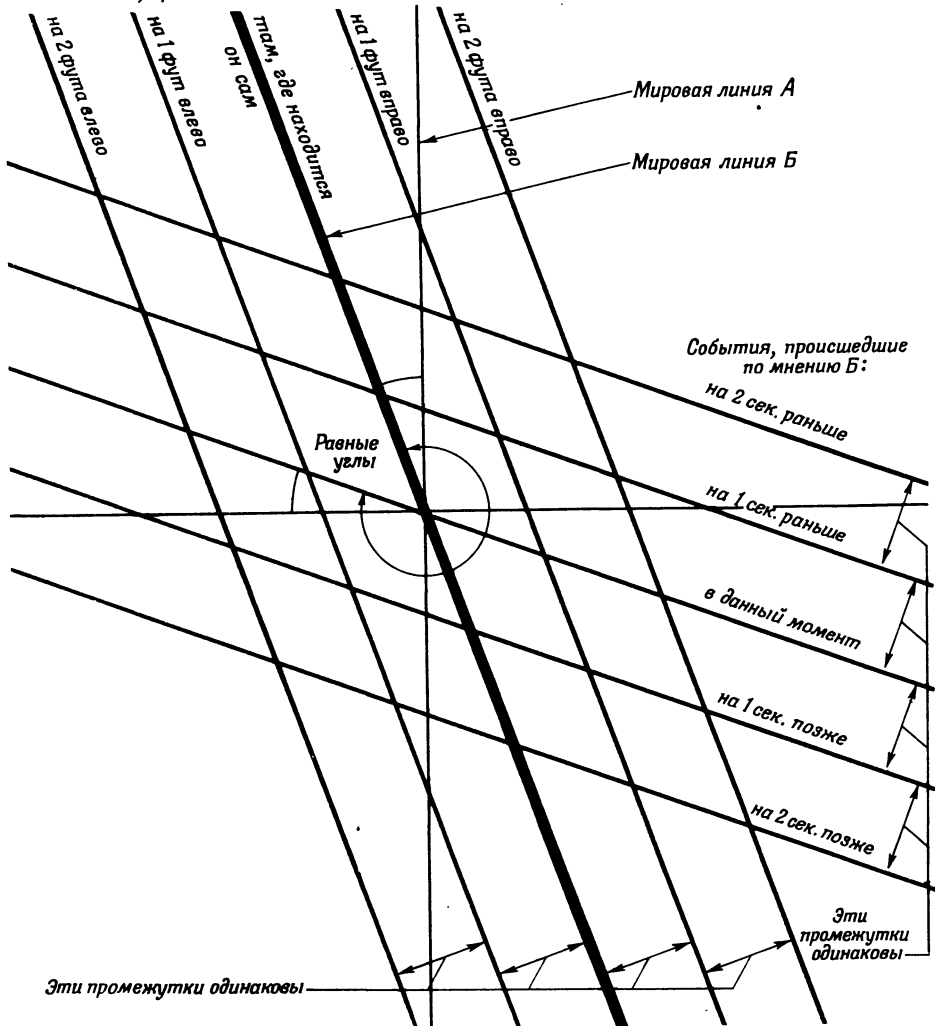
Таким образом, любая особенность в представлениях о времени и пространстве наблюдателя B , которую может заметить A , должна в точности соответствовать такой же особенности в этих представлениях A , которую может за-

метить *Б*. У каждого должны быть те же самые «жалобы» на другого!

В схеме событий, вычерченной наблюдателем *А*, представления *Б* о пространстве и времени имеют следующий вид:

События, происходящие по мнению *Б*:

Ф и г. 61.

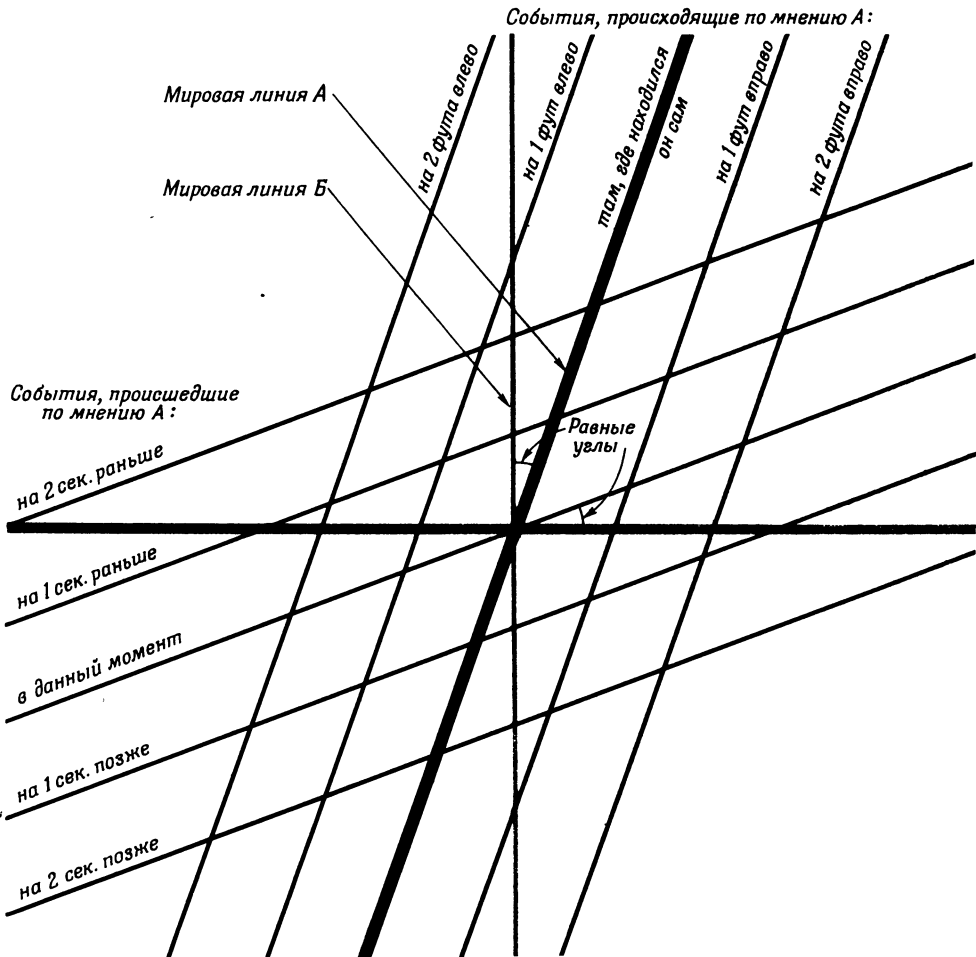


(это точная копия фиг. 51).

В схеме событий, вычерченной наблюдателем *Б*, представления *А* о пространстве и времени имеют такой вид, как на фиг. 62.

Углы между серо-коричневыми и черными линиями на обоих этих чертежах одни и те же. Наклон этих линий изображает в одном случае скорость наблюдателя *Б* с точки зрения *А*, а в другом — скорость наблюдателя *А* с точки зрения *Б*.

Ф и г. 62.



Но мы знаем, что наблюдатель *Б* приписывает *А* ту же скорость, которую ему приписывает наблюдатель *А*.

Положение наблюдателей *А* и *Б* совершенно симметрично, так что просветы между наклонными линиями в схеме на предыдущей странице должны быть в точности такими же, как аналогичные просветы на фиг. 61.

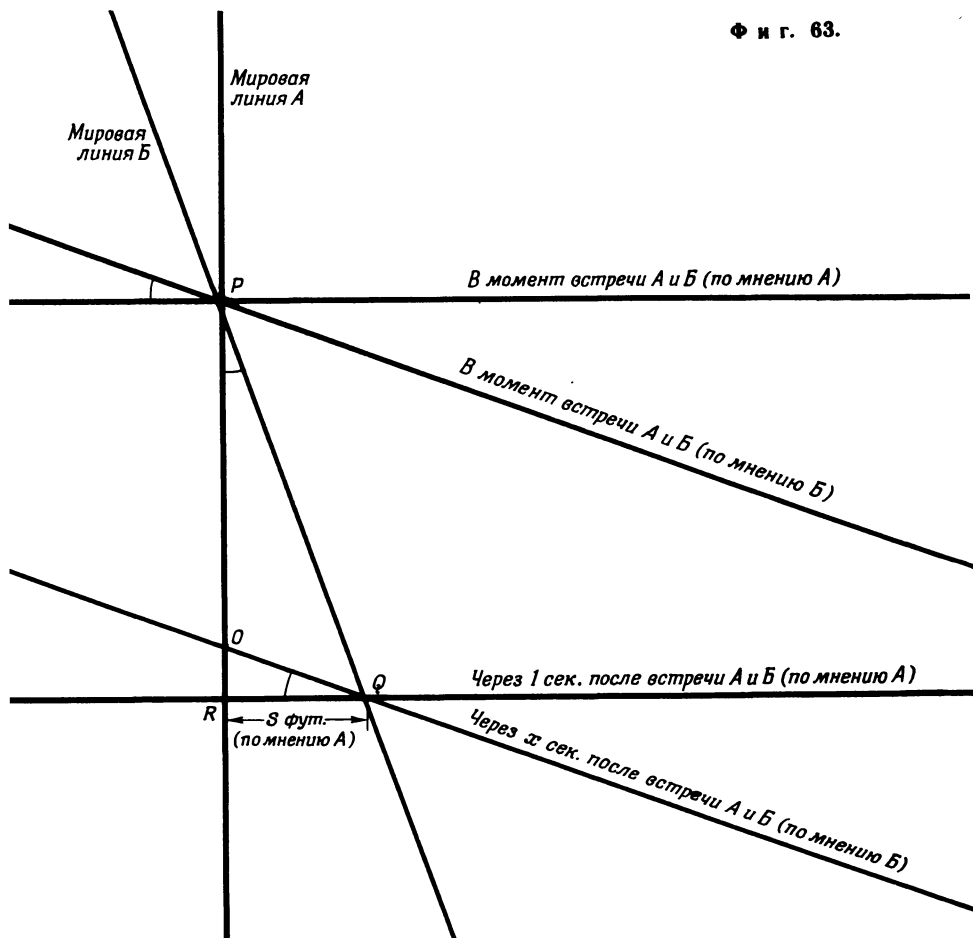
Чему именно равны эти расстояния (просветы) между линиями? Это единственный оставшийся еще не решенным вопрос из тех трех, которые мы задали на стр. 75. Мы можем поставить этот вопрос следующим образом. Сколько времени пройдет, по мнению наблюдателя *Б*, с того момента, когда он поравнялся с наблюдателем *А*, до другого момента, когда он придет в ту точку, которой, *согласно представлениям наблюдателя А о времени*, он достигнет через 1 сек?

Пришло время ответить и на этот вопрос.

Даны два равномерно движущихся наблюдателя *А* и *Б*. С точки зрения *А*, наблюдатель *Б* движется со скоростью, равной *S* в единицах скорости света. Перед нами стоит вопрос: сколько времени пройдет, по мнению *Б*, с того момента, когда он поравнялся с наблюдателем *А*, до другого момента, когда он придет в ту точку своего пути, которой, согласно представлениям наблюдателя *А* о времени, он достигнет через 1 сек? Назовем этот промежуток времени (с точки зрения наблюдателя *Б*) *x* (в секундах). Так как положение наблюдателей *Б* и *А* совершенно симметрично, то промежуток времени, прошедший, по мнению наблюдателя *А*, с того момента, когда он поравнялся с *Б*, до дру-

того момента, когда он пришел в ту точку своего пути, которой, согласно представлениям *Б* о времени, он достиг через 1 сек, тоже должен быть равен x сек. Следовательно, промежуток времени, который, по мнению *А*, прошел с тех пор, как он поравнялся с наблюдателем *Б*, и до момента, когда он достиг той точки своего пути, где, согласно представлениям *Б* о времени, он оказался через x сек, относится к x так же, как x относится к 1. Значит, этот промежуток времени равен x раз по x , или x^2 . Эту картину можно изобразить на схеме наблюдателя *А* следующим образом:

Ф и г. 63.



Заметим, что точка Q изображает событие, происшедшее, по мнению наблюдателя A , через 1 сек после встречи A и B . Тогда, как мы установили, та же точка Q изображает событие, происшедшее, по мнению наблюдателя B , через x сек после встречи A и B . Все точки серо-коричневой прямой, проходящей через Q и образующей тот же угол с горизонталью, какой мировая линия наблюдателя B образует с вертикалью, представляют, следовательно, всевозможные события, происшедшие, с точки зрения B , через x сек после встречи A и B . Точка пересечения O этой линии с мировой линией наблюдателя A — это, значит, та самая точка, в которую A , по мнению B , приходит через x^2 сек после их встречи. Как уже было сказано, по мнению A , он попадает в эту точку через x^2 сек после его встречи с B . Отрезки PR и RQ изображают соответственно 1 сек времени и S фут длины с точки зрения представлений наблюдателя A о времени и пространстве. Поэтому в принятом масштабе (см. стр. 89) отрезок PR равен 1 дюйм, а отрезок PQ равен S дюйм. Как было только что показано, отрезок PQ изображает x сек времени (с точки зрения B), а отрезок PO изображает x^2 сек времени (с точки зрения A). Поэтому на схеме наблюдателя A отрезок PO должен иметь в длину x^2 дюйм. Заметим теперь, что наименьшие углы в двух прямоугольных треугольниках PRQ и QRO равны между собой, так что эти треугольники подобны, а их соответственные стороны пропорциональны. Так как больший и меньший катеты PR и RQ в треугольнике PRQ равны

соответственно 1 дюйм и S дюйм, то меньший катет OR треугольника QRO должен быть вследствие подобия в S раз «больше» большего катета RQ этого же треугольника. Однако отрезок RQ равен S дюйм, так что катет OR должен иметь в длину S раз по S дюйм, т. е. S^2 дюйм. Так как отрезок PO равен x^2 дюйм, а отрезок OR равен S^2 дюйм, тогда как вся длина отрезка PR составляет 1 дюйм, то $x^2 + S^2 = 1$; значит, $x^2 = 1 - S^2$. Извлекая квадратный корень из обеих сторон полученного равенства, найдем $x = \sqrt{1 - S^2}$.

Итак, по мнению наблюдателя A , точки P и O изображают события, между которыми прошло $1 - S^2$ сек; по мнению A , точки P и R изображают события, между которыми прошла 1 сек; наконец, по мнению наблюдателя B , точки P и Q изображают события, между которыми прошло $\sqrt{1 - S^2}$ сек.

Говоря определеннее, мы обнаружили, что

Если, по мнению наблюдателя A (одного из двух равномерно движущихся наблюдателей), другой наблюдатель B движется относительно него со скоростью S (в единицах скорости света), то A обнаружит, что, с точки зрения B , пройдет всего $\sqrt{1 - S^2}$ сек, пока наблюдатель B достигнет той точки своего пути, в которую, по мнению A , он приходит через 1 сек. При этом и наблюдатель B , со своей стороны, заключит о наблюдателе A то же самое.

Мы знаем, что наблюдатель *Б* строит свои количественные представления о времени, рассматривая происходящие вокруг него физические процессы, точно так же, как и наблюдатель *А*. Более того, согласно Закону относительности для равномерного движения, наблюдатель *Б* не может заметить каких-либо ненормальностей или отклонений в скорости хода различных физических процессов, происходящих вокруг него. Значит, наш результат, который, по наивному мнению наблюдателя *А* казался бы ошибочным впечатлением наблюдателя *Б* о скорости течения времени, представляет собой просто следствие того факта, что все физические процессы вокруг *Б* замедлены (с точки зрения *А*) в пропорции $\sqrt{1-S^2}$ к 1.

С точки зрения данного равномерно движущегося наблюдателя (рассматривающего себя, естественно, покоящимся), все физические процессы, происходящие в физической системе, движущейся относительно него со скоростью *S* (в единицах скорости света), будут замедлены по сравнению с их обычным темпом в пропорции $\sqrt{1-S^2}$ к 1.

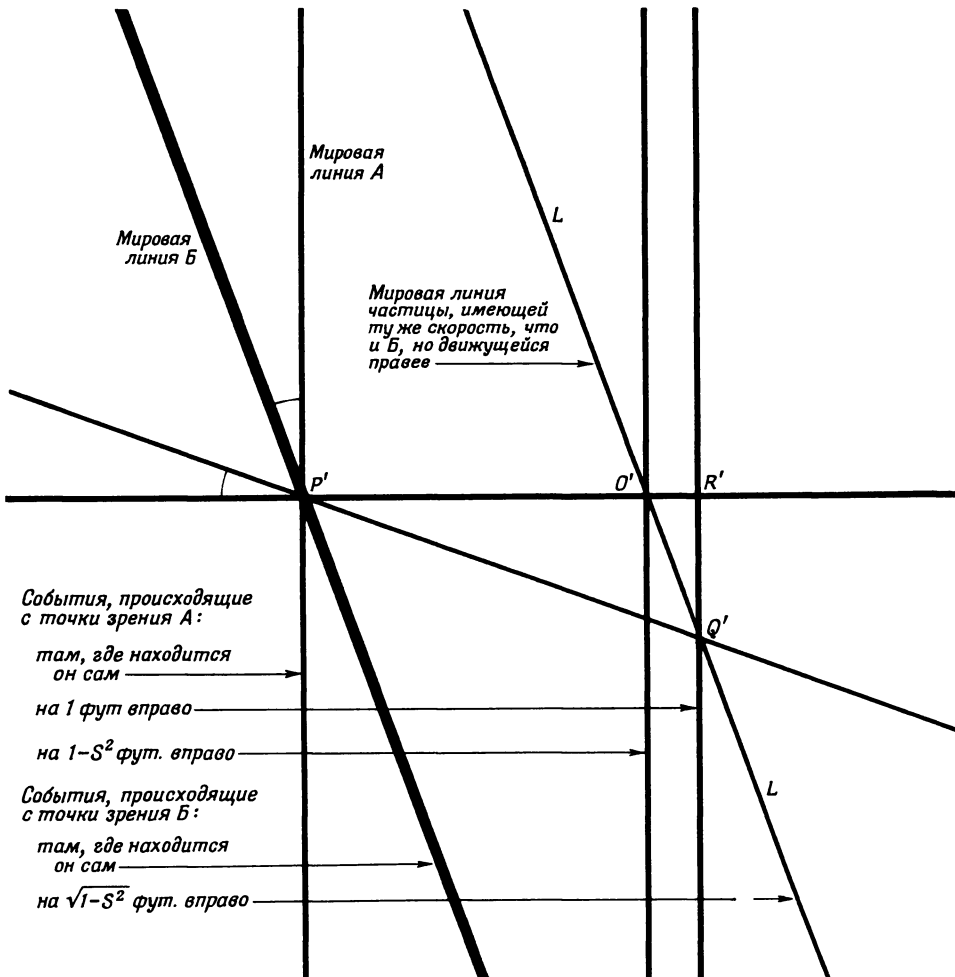
ТАК ЧТО ДВИЖУЩИЕСЯ ЧАСЫ ЛЮБОЙ КОНСТРУКЦИИ ОТСТАЮТ!

Это еще один из самых знаменитых законов Эйнштейна.

Время и пространство фигурируют на схемах фиг. 61 и 62 совершенно симметричным образом. Мы видели, кроме того, что если отрезок *PR* изображает 1 сек времени (как ее воспринимает наблюдатель *А*), то отрезок *PO* изобра-

жает $1 - S^2$ сек времени (как их воспринимает наблюдатель A), а отрезок PQ изображает $\sqrt{1-S^2}$ сек времени (как их воспринимает наблюдатель B). Вспоминая об уже отмеченной симметрии, можно сразу же заключить, что если на фиг. 64 отрезок $P'R'$ изображает 1 фут длины (как его воспринимает наблюдатель A), то отрезок $P'O'$ изображает $1 - S^2$ фут длины (как их

Ф и г. 64.



воспринимает наблюдатель A), а отрезок $P'Q'$ изображает $\sqrt{1-S^2}$ фут длины (как их воспринимает наблюдатель B).

С другой стороны, линия L изображает последовательные положения частицы, движущейся с той же скоростью, что и наблюдатель B , но справа от него. Поскольку отрезок $P'O'$ соответствует, с точки зрения A , $1-S^2$ фут, то наблюдатель A скажет, что эта частица находится на $1-S^2$ фут вправо от наблюдателя B . Однако отрезок $P'Q'$, с точки зрения наблюдателя B , соответствует $\sqrt{1-S^2}$ фут, и B скажет, что эта частица находится справа от него на расстоянии $\sqrt{1-S^2}$ фут. Наконец, отношение y^2 к y равно y^2/y , или y , т. е. оно такое же, что и отношение y к 1. Значит, отношение $1-S^2$ к $\sqrt{1-S^2}$ точно такое же, что и отношение $\sqrt{1-S^2}$ к 1. Поэтому мы можем сделать из фиг. 64 следующий вывод.

Если с точки зрения A , одного из двух равномерно движущихся наблюдателей, наблюдатель B движется со скоростью S (в единицах скорости света) и если есть частица, движущаяся относительно A с той же скоростью, с какой движется относительно него наблюдатель B , но остающаяся правее B на $\sqrt{1-S^2}$ фут, то наблюдатель A обнаружит, что, по мнению B , эта частица находится вправо от B на целый фут¹.

Значит, подобно тому как мы сделали это в отношении хода времени на стр. 142, здесь можно заключить:

¹ Вспомним, что $\sqrt{1-S^2}$ меньше единицы. — Прим. перев.

С точки зрения данного равномерно движущегося наблюдателя (рассматривающего себя, естественно, покоящимся), все расстояния в физической системе, движущейся относительно него со скоростью S (в единицах скорости света), сокращаются по сравнению с их обычной величиной в пропорции $\sqrt{1-S^2}$ к 1.

ТАК ЧТО ДВИЖУЩИЙСЯ СТЕРЖЕНЬ, СДЕЛАННЫЙ ИЗ КАКОГО УГОДНО МАТЕРИАЛА, ОКАЗЫВАЕТСЯ *УКОРОЧЕННЫМ!*

Этот последний закон безоговорочно правилен, лишь когда речь идет об одном-единственном измерении, а не о тех трех измерениях, которые в действительности существуют в нашем реальном мире.

Если мы не поленимся обратить внимание на те незначительные поправки, которые это обстоятельство вносит во все, что говорилось до сих пор, то найдем, что в трехмерном пространстве «сокращение длин», о котором только что шла речь, происходит лишь в направлении движения, а отрезки, перпендикулярные этому направлению, остаются без изменения.

Только что полученные четыре закона представляют собой знаменитейшие открытия Эйнштейна. Чтобы прочувствовать их получше, давайте рассмотрим теперь их следствия в различных случаях.

Пусть реактивный самолет летит со скоростью 3600 км/час; спрашивается: насколько замедлится время и сократятся длины на его борту, если наблю-

дать его с поверхности земли? Это легко подсчитать. Скорость в 3600 км/час составляет $3600/(60 \cdot 60) = 1$ км/сек, или $1/300\,000$ в единицах скорости света, что в десятичных дробях лучше приблизительно записать в виде 0,000003. Тогда

$$\begin{aligned}\sqrt{1 - S^2} &= \sqrt{1 - (0,000003) \cdot (0,000003)} = \\ &= 0,999999999995,\end{aligned}$$

и мы видим, что время течет для пилота этого реактивного самолета медленнее, чем у нас, всего на 5 десятиллиардных долей процента. Это соответствует отставанию часов примерно на 1 сек за 10 000 лет, так что ясно, почему этот эффект так долго ускользал от внимания людей.

Если бы, наоборот, скорость S движущейся частицы приближалась к скорости света, так что величины S и S^2 были только ненамного меньше единицы (мы продолжаем измерять скорость в единицах скорости света), то величины $1 - S^2$ и $\sqrt{1 - S^2}$ были бы практически равны нулю. Тогда и темп физических процессов, и длины физических объектов уменьшились бы практически до нуля в такой движущейся системе, если на нее глядеть со стороны, с точки зрения «покоящегося» наблюдателя.

С полученными формулами связана масса интереснейших вопросов. В первую очередь заметим, что величина S^2 всегда больше нуля, если только скорость S не равна нулю, и поэтому множитель $\sqrt{1 - S^2}$ всегда меньше единицы (при неравной нулю скорости). Таким образом, темп всех физических процессов, происходящих в движущейся

системе, с точки зрения покоящегося наблюдателя, всегда должен быть медленнее, чем обычный темп этих процессов в системе, связанной с этим наблюдателем. Из этого замечания следует

ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦА-ПУТЕШЕСТВЕННИКА

Пусть один из двух близнецов, скажем M , любит путешествовать, а другой близнец H — домосед. Когда обоим исполнилось по 20 лет, H окончательно решил остаться дома, на Земле, а M отправился в далекое путешествие на быстром ракетном корабле, летевшем подолгу со скоростями, близкими к скорости света. Поэтому, с точки зрения H , его брат M старился медленнее, чем сам H , причем иногда даже гораздо медленнее. Путешественник M вернулся обратно, когда его брату H исполнилось 60 лет. Но поскольку M , с точки зрения H , старился замедленно, то при возвращении брату M было всего 30 лет!

В чем же парадокс? Вот в чем. Ведь с точки зрения M именно он сам покоился, тогда как его брат H «летел», так что, по мнению M , это брат H должен был стариться в замедленном темпе. Значит, если путешественнику M исполнилось при возвращении 30 лет, то его брат H должен был бы оказаться еще моложе!

Этот кажущийся парадокс ставит в тупик некоторых студентов, изучающих теорию относительности; его даже использовали противники теории относительности, доказывая с его помощью, что эта теория противоречит сама себе. Однако если мы внимательнее раз-

беремся в причинах этого мнимого парадокса, то увидим, что кажущееся противоречие основано просто на неправильном применении теории.

В чем же ошибка? Дело в том, что в нашем примере положение наблюдателей M и N несимметрично. Наблюдатель N никогда не подвергается действию ускорений. Путешествующий же наблюдатель M ускоряется по крайней мере в течение части своего полета. Равномерно движущийся наблюдатель не может заметить никаких физических эффектов, которые показали бы ему, что он движется, а неравномерно движущийся наблюдатель сталкивается с массой всевозможных физических эффектов, определенно говорящих об изменении его состояния движения. Обратимся снова к тем неодинаковым ощущениям, которые испытывает пассажир в равномерно движущемся автомобиле и в автобусе, идущем равноускоренно. В последнем пассажир чувствует силу, откидывающую его на спинку сиденья. Подумайте, наконец, и о прямо противоположных ощущениях человека, чья машина врезалась в бетонную стенку! Ему и в голову не придет утверждать, будто его состояние движения не изменялось во время удара или будто он не заметил при этом ничего особенного...

Таким образом, братья M и N не были в симметричном (одинаковом) положении, и никакого парадокса нет: брат M вернется на самом деле тридцатилетним, когда его брату-близнецу N исполнится шестьдесят! Парадокс был бы только при условии, если бы ни M , ни N вообще не подвергались ускорениям и на-

ходились бы, таким образом, во взаимно симметричном положении. Однако в таком случае наблюдатель M никак не смог бы повернуть назад и возвратиться туда, откуда началось его путешествие, и M и H никогда не смогли бы снова встретиться через годы разлуки. Так опровергается мнимая противоречивость теории относительности.

Не доказали ли мы тем фактом, что брат M оказался при возвращении моложе, чем его оставшийся дома близнец брат H , преимуществ путешествий перед сидячим образом жизни? Ведь перемещение привело к тому, что время текло для M медленнее, чем для H , и он поэтому оказался моложе, а его брат-домосед H так сильно постарел? Увы, нет. Так как все физические процессы, которые M наблюдал на борту своей ракеты во время полета, развивались именно так, как они должны течь в течение тех десяти лет, на которые M стал старше, то сам M смог насладиться лишь этими десятью годами, тогда как его брат H успел использовать все сорок. Ведь все, что небеса даровали обоим — и M , и H , — это нить жизни, на которой нанизаны опыт и впечатления. А уж в каком темпе пропустить эту общую для всех нас нить, на ней не было указано. Так что полученный вывод показался нам парадоксальным снова лишь под влиянием ошибочных представлений здравого смысла об абсолютном времени.

Правда, брат M смог, конечно, при желании, под действием скорости своего движения, передвинуть нить своего жизненного опыта на более поздний

участок мировой истории. Если он полагает, что будущее должно быть лучше, чем настоящее, он может сделать такой выбор. Если же, напротив, он, как некоторые писатели-фантасты, считает, что будущее хуже, то он предпочел бы прожить свою жизнь в настоящем. Таким образом, брат М имеет возможность выбора. Но ведь, с другой стороны, эта возможность у него есть независимо от теории относительности. Если ему захочется жить в будущем, то достаточно дать соответствующим образом осторожно заморозить себя, а потом оттаять и ожить....

На предыдущих страницах было рассказано об открытиях Эйнштейна, изменивших наши основные представления о времени и пространстве. Мы заметили также, что эти понятия — пространство и время — лежат в самой основе физических законов. А так как мы видели, что эти основы вовсе не таковы, какими их принимал здравый смысл, то нужно ожидать, что и структура построенных на них законов физики должна быть не такой, как это обыкновенно принимали. Следовательно, открытия Эйнштейна о времени и пространстве требуют новой физики. И эту новую физику, некоторые законы которой обсуждались нами на стр. 116—120, в основных деталях разработал Эйнштейн. Нашу книгу можно было бы продолжить рассказом об этих новых законах физики, проследив их вывод по Эйнштейну. К сожалению, это было бы слишком дерзким желанием в рамках нашей книги, и вот почему. Даже самые простые из этих

новых физических законов можно выразить лишь с помощью чисто физических понятий — энергии, массы, импульса. Но нельзя даже просто объяснить смысл этих понятий достаточно строго и точно для того, чтобы можно было убедительно вывести эйнштейновские законы физики, не разобравшись во всей предыдущей истории этой науки. Заняться этим — значило бы раздуть нашу книгу до невероятных размеров. Читателю, заинтересованному изучением этих увлекательных вопросов, лучше всего проработать сначала обычные учебники физики, чтобы почувствовать смысл и значение массы, энергии, импульса и всего прочего. А уже потом гораздо проще понять и новую эйнштейновскую физику, пришедшую на смену старой ньютоновой.

Впрочем, мы все же посмотрим чисто качественно, что это за эйнштейновские законы физики, чтобы получить о них самое общее представление. Для этого обратимся к одному из открытий Эйнштейна.

Мы видели, что никакая частица не может двигаться со скоростью, большей скорости света. Это означает, что по мере приближения скорости частицы к световой становится все труднее и труднее увеличивать дальше ее скорость. Значит, если к частице приложена постоянная сила, то вызываемое ею ускорение частицы должно становиться все меньше и меньше, по мере того как скорость этой частицы приближается к скорости света. Однако вспомним, что свойство тел сопротивляться действию ускоряющей силы называется *инерт-*

ной массой, и при постоянной силе эта масса обратно пропорциональна ускорению. Мы пришли, таким образом, к следующему выводу:

Масса движущегося тела должна возрастать при увеличении его скорости, стремясь к бесконечности по мере приближения этой скорости к скорости света.

Эйнштейн сумел найти и точный количественный закон такого увеличения массы движущегося тела, но по только что указанным причинам я не рискую подробно излагать здесь ход его мыслей.

Если телу сообщить энергию (например, в виде теплоты), то отдельные молекулы, составляющие это тело, станут двигаться быстрее. Согласно сделанному только что выводу, каждая из этих молекул, а значит, и все тело в целом, должны увеличить свою массу. Следовательно,

Увеличение энергии тела связано с увеличением его массы.

Эйнштейн сумел показать, что это увеличение массы должно быть в точности пропорционально увеличению энергии, и он показал, что коэффициент пропорциональности равен здесь квадрату скорости света. Из этого вывода, записанного в виде знаменитой формулы

Энергия = Масса · (Скорость света)²,

люди еще в 1905 г. узнали о потрясающей энергии, заключенной в ядре атома.

ЭПИЛОГ

Имеется множество книг, из которых читатель при желании может узнать о вопросах релятивистской механики¹, не рассмотренных в нашей книге. Вывод количественных законов, определяющих возрастание массы со скоростью и связь массы с энергией, можно найти в IV главе небольшой книги Герберта Дингла «*Специальная теория относительности*» (Herbert Dingle, «The Special Theory of Relativity»). Эти же вопросы затронуты в книге Р. Либера и Х. Либера «*Эйнштейновская теория относительности*» (Lillian R. Lieber, Hugh Gray Lieber, «The Einstein Theory of Relativity») — книге средней трудности, написанной в необычном стиле. Эта книга включает также обзор «общей теории относительности», т. е. релятивистской теории гравитации. Довольно элементарное качественное изложение теории относительности, включая общую теорию, содержится в книге самого Эйнштейна «*Относительность — специальная и общая теория*» («Relativity — the Special and General Theory») и в 3-й части книги «*Эволюция физики*», написанной Эйнштейном и Леопольдом Инфельдом («The Evolution of Physics»). Эта последняя книга особенно ценна, потому что

¹ В физике слово «релятивистский» означает: «относящийся к теории относительности». — *Прим. перев.*

в ней рассмотрено много ключевых вопросов истории физики вообще, так что теория относительности излагается на фоне этой общей перспективы. Имеется множество и других изложений теории относительности, «популярных» в том смысле, что они основаны на неких курьезах. Из них лучшими являются следующие две книги: *«От Коперника до Эйнштейна»* Ганса Рейхенбаха (Hans Reichenbach, «From Copernicus to Einstein») и *«Мир и доктор Эйнштейн»* Линкольна Барнетта (Lincoln Barnett, «The Universe and Dr. Einstein»).

Одним из лучших, систематически построенных университетских курсов теории относительности является *«Теория поля»* Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица. В этом труде изложена также теория гравитации.

ПОСЛЕСЛОВИЕ ПЕРЕВОДЧИКА

Читатель уже одолел эту книгу. Какие же вопросы у него возникли? Если его первое серьезное знакомство с теорией Эйнштейна состоялось именно сейчас, то можно думать, что таких главных вопросов должно быть по крайней мере два:

1. Что нового внес автор в изложение теории относительности Эйнштейна?

2. Какую литературу на русском языке следует еще прочесть по теории относительности?

Автор книги, Дж. Шварц, неоднократно подчеркивает, что он просто излагает мысли и работы великого Эйнштейна, и поэтому первый вопрос встает совершенно естественно (хотя едва ли в первую очередь).— Однако Эйнштейн, наверное, сам не предполагал, что его теорию можно так изложить просто «в картинках», не прибегая к алгебраическим, тригонометрическим или хотя бы длинным арифметическим вычислениям.

Достаточно заглянуть в любую другую книгу, где серьезно выводятся эйнштейновские законы (например, в превосходную по-своему «Азбуку теории относительности» Климента Дьюрелла), и вы сразу заметите, как отличается от нее книга Шварца. А ведь Шварц тоже проводит свои рассуждения достаточно строго!

Вот мы уже начали отвечать и на второй вопрос. К упомянутой книге Дью-

релла можно добавить указанную Шварцем и живо освещающую широкий круг физических идей «*Эволюцию физики*» Эйнштейна и его ученика Леопольда Инфельда, а также выпущенную в Казани небольшую, но очень хорошую книгу «*Пространство, время и материя*» профессора Казанского университета А. З. Петрова. Известный физик-теоретик старшего поколения Макс Борн адресовал самому широкому читателю книгу о Вселенной, физике и геометрии мира («*Эйнштейновская теория относительности*»), недавно выпущенную в русском переводе. Еще основательнее можно продолжить изучение теории по книге самого Эйнштейна «*Сущность теории относительности*» и по многим другим книгам, которые, впрочем, не залеживаются на прилавках магазинов. Словом, книг много, и остается лишь читать их.

Но вернемся к только что прочитанной вами небольшой книге Шварца. В противоположность любой другой книге по теории относительности, книга Шварца дает читателю сразу яркое геометрическое представление об этой теории, она активно учит читателя изобретать удобные способы для наглядного и строгого описания явлений окружающего мира и убедительно доказывает непригодность суждений так называемого «здравого смысла» в тех областях науки, которые подошли к пределам познанного нами сегодня мира, например в глубинах космоса и атомного ядра.

Если для читателя в книге Шварца остались еще какие-то неясности, то он совершит ошибку, не вернувшись к не-

понятным местам; необходимо, вооружившись терпением, разобраться в них до конца. Этой книги, ее рассуждений, графиков, а главное, ее здорового научного критического духа, забыть невозможно.

Наивная детективная история о двух ковбоях, с которой начинается книга,— не в счет. Это дань автора американским литературным вкусам. Правда, автор не теряет чувства меры и ограничивается минимальным количеством забавных картинок. Назначение этих картинок — наиболее простым путем ввести читателя в суть дела: подойти к строгому анализу кинематики релятивистских движений. И если читатель, поломав над этой книгой голову (а то, что дается легко, крепко в ней не засядет), доведет все до полной ясности — вот тогда он может считать, что одержал небольшую, но славную победу на своем пути в науку.

Н. Мицкевич

Скоро выходит

В

ИЗДАТЕЛЬСТВЕ „МИР“

Кеннет Форд. «МИР ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ»,
перевод с английского.

Книга Кеннета Форда — это увлекательный рассказ о том, что происходит на передовой линии фронта современной физики, на том участке науки, где проникают в загадочный мир так называемых элементарных частиц самых малых кирпичиков материи. Помимо основных фактов, идей, опытов, автор говорит о весьма тонких вещах — о связи принципов симметрии с законами сохранения, о волновых полях и природе частиц, о фейнмановских диаграммах. Все эти сложные вопросы, которые на первый взгляд недоступны для популяризации, удивительно ясно изложены в этой небольшой книге. Книга позволит читателю глубже понять устройство микромира и царящие в нем закономерности. Чтение книги не требует знания математики или специальной подготовки по физике. Круг ее читателей весьма широк — от любознательных школьников старших классов до ученых нефизиков, желающих познакомиться с тем, что делают сейчас физики, штурмующие вершины неизвестного.

Д ж. Ш в а р ц
КАК ЭТО ПРОИЗОШЛО?

Художник *Г. А. Щетинин*
Художественный редактор
Е. И. Подмарькова

Технический редактор *Л. П. Кондюкова*
Корректор *А. Ф. Рыбальченко*

Сдано в производство 12/1 1965 г.
Подписано к печати 6/VII 1965 г.
Бумага 84×108¹/₃₂. = 2,5 бум. л.
8,2 печ. л. Уч.-изд. л. 6,18
Изд. № 2/3003. Цена 36 коп. Зак. 32.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Москва, 1-й Рижский пер., 2

Ярославский полиграфкомбинат
Главполиграфпрома Государственного
комитета Совета Министров СССР
по печати, Ярославль,
ул. Свободы, 97