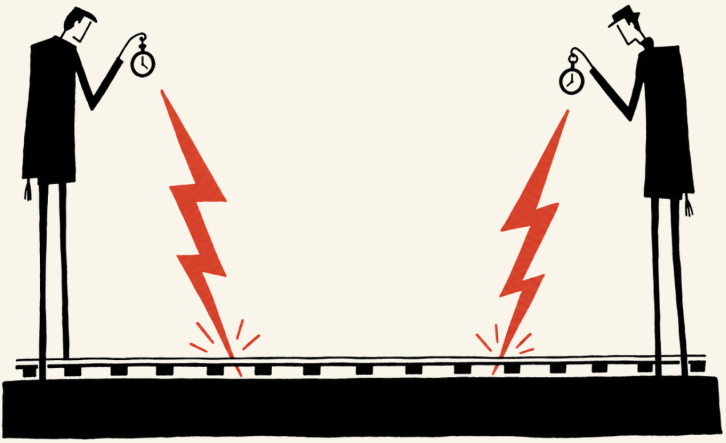
О специальной и общей теории относительности



Albert Einstein · 1917

Иллюстрированные аудиолекции

Lecturized

О специальной и общей теории относительности

Иллюстрированные аудиолекции

Albert Einstein · 1917

Пересказано в иллюстрированных лекциях Lecturized
lecturized.com

По оригиналу: Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich)

Содержание

Физическое содержание геометрических предложений

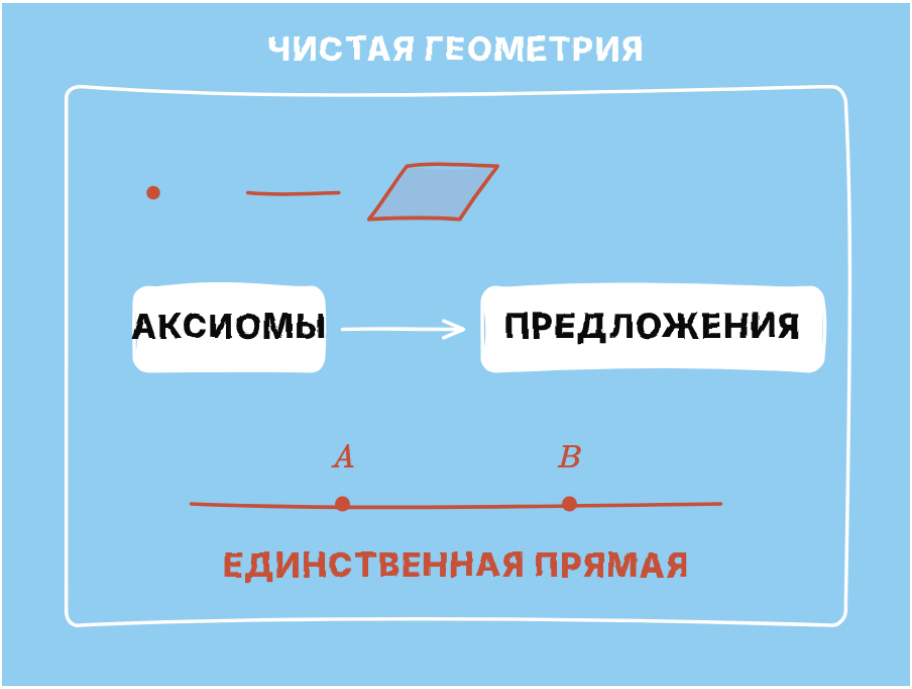
Система координат

Пространство и время в классической механике

Галилеева система координат

Физическое содержание геометрических предложений

Конечно, и ты, дорогой читатель, мальчиком или девочкой познакомился с гордым зданием геометрии Евклида и вспоминаешь, быть может, с большим уважением, чем любовью, то гордое строение, по высоким лестницам которого тебя бессчётные часы гоняли добросовестные учителя. Конечно, в силу этого своего прошлого ты покарал бы презрением всякого, кто объявил бы неверным хотя бы самое отдалённое предложеньице этой науки. Но это чувство гордой уверенности, быть может, тотчас покинуло бы тебя, если бы кто-нибудь спросил: «Что же ты разумеешь, утверждая, что эти предложения истинны?» На этом вопросе мы немного задержимся.



Внутри чистой геометрии

Геометрия исходит из некоторых основных понятий, таких как плоскость, точка, прямая, с которыми мы способны связывать более или менее отчётливые представления, и из некоторых простых предложений, аксиом, которые мы на основании этих представлений склонны принимать за «истинные». Все остальные предложения затем сводятся к этим аксиомам, то есть доказываются, при помощи логического метода, правомерность которого мы чувствуем себя вынужденными признать. Предложение тогда правильно, или «истинно», когда оно выведено из аксиом признанным способом. Вопрос об «истинности» отдельных геометрических предложений приводит, таким образом, к вопросу об «истинности» аксиом. Но давно известно, что этот последний вопрос не только

неразрешим методами геометрии, но и вообще сам по себе лишён смысла. Нельзя спрашивать, истинно ли, что через две точки проходит только одна прямая. Можно лишь сказать, что евклидова геометрия имеет дело с образованиями, которые она называет «прямыми» и которым приписывает свойство однозначно определяться двумя своими точками. Понятие «истинный» не подходит к утверждениям чистой геометрии, потому что словом «истинный» мы в конечном счёте всегда обозначаем согласие с «реальным» предметом; геометрия же занимается не отношением своих понятий к предметам опыта, а лишь логической связью этих понятий между собой.

То, что мы всё же склонны называть предложения геометрии «истинными», объясняется легко. Геометрическим понятиям более или менее точно соответствуют предметы в природе, и эти предметы, без сомнения, являются единственной причиной возникновения тех понятий. Пусть геометрия, чтобы придать своему зданию наибольшую логическую замкнутость, от этого отстраняется; но привычка видеть, например, в отрезке две отмеченные точки на практически твёрдом теле глубоко укоренилась в наших навыках мышления. Мы привыкли, далее, считать три места лежащими на одной прямой, если при подходящем выборе точки наблюдения можем заставить их видимые положения совпасть при рассматривании одним глазом.

Если теперь, следуя этой привычке мышления, мы добавим к предложениям евклидовой геометрии одно-единственное предложение, что двум точкам практически твёрдого тела всегда соответствует одно и то же расстояние, один и тот же отрезок, какие бы изменения положения мы ни производили с этим

телом, то предложения евклидовой геометрии превратятся в предложения о возможном взаимном расположении практически твёрдых тел. Дополненную таким образом геометрию следует тогда рассматривать как раздел физики. Теперь можно с полным правом спрашивать об «истинности» так истолкованных геометрических предложений, ибо можно спрашивать, верны ли эти предложения для тех реальных вещей, которые мы сопоставили геометрическим понятиям. Несколько неточно мы можем, следовательно, сказать, что под «истинностью» геометрического предложения в этом смысле мы понимаем его подтверждение при построении циркулем и линейкой.

Убеждение в «истинности» геометрических предложений в этом смысле покоится, разумеется, исключительно на довольно несовершенном опыте. Мы будем пока предполагать эту истинность геометрических предложений, чтобы затем, в последней части наших рассуждений, в общей теории относительности, увидеть, что и в какой мере эта истинность имеет свои границы.

Вопросы

1. Внутри самой геометрии, когда предложение называется истинным?
   a. Когда оно согласуется с измерениями на реальных телах
   b. Когда оно выведено из аксиом признанным способом

c. Когда всякий внимательный читатель находит его очевидным

2. Почему автор говорит, что понятие «истинный» не подходит к утверждениям чистой геометрии?
   a. Потому что её аксиомы никем не доказаны
   b. Потому что «истинный» означает согласие с реальным предметом, а чистая геометрия имеет дело лишь с логической связью своих понятий
   c. Потому что представления о точке и прямой слишком расплывчаты
   d. Потому что геометрические построения никогда не бывают точными

3. Какое единственное предложение, добавленное к евклидовой геометрии, превращает её в раздел физики?
   a. Что двум точкам практически твёрдого тела всегда соответствует одно и то же расстояние, какие бы изменения положения тело ни претерпевало
   b. Что три места лежат на одной прямой, если при рассматривании одним глазом они кажутся совпадающими
   c. Что построение циркулем и линейкой всегда возможно
   d. Что предметы природы являются единственной причиной геометрических понятий

4. На чём покоится убеждение в истинности геометрических предложений в физическом смысле?
   a. На логической замкнутости здания геометрии
   b. На том, что аксиомы кажутся очевидными

c. На довольно несовершенном опыте, принимаемом пока как данность

Ответы

1. b) Предложение правильно, или истинно, когда оно выведено из аксиом признанным способом; вопрос о его истинности приводит, таким образом, к истинности аксиом.

2. b) Словом «истинный» мы в конечном счёте обозначаем согласие с реальным предметом; геометрия же занимается лишь логической связью своих понятий между собой, а не их отношением к предметам опыта.

3. a) С этим одним добавленным предложением предложения евклидовой геометрии становятся предложениями о возможном взаимном расположении практически твёрдых тел, и дополненную так геометрию следует рассматривать как раздел физики.

4. c) Убеждение покоится исключительно на довольно несовершенном опыте; автор пока предполагает эту истинность, чтобы позже, в общей теории относительности, показать, где она имеет границы.

Задачи

1. Объясните своими словами, почему вопрос «Истинно ли, что через две точки проходит только одна прямая?» нельзя задать внутри чистой геометрии, а вопрос, подчиняется ли начерченный треугольник теореме Пифагора, задать можно.

Подсказка: Спросите о каждом вопросе, идёт ли в нём речь о понятиях или о реальных предметах.

Ответ: Чистая геометрия имеет дело с образованиями, которые она называет прямыми, и по определению наделяет их свойством определяться двумя своими точками; спросить, истинно ли это,

значило бы спросить о согласии с реальным предметом, которым чистая геометрия не занимается. Начерченный треугольник — реальная вещь, сопоставленная геометрическим понятиям, так что вопрос, верно ли для него предложение, есть вопрос о согласии с реальностью, и он имеет смысл.

2. Автор говорит, что мы склонны называть геометрические предложения истинными и что это объясняется легко. Дайте это объяснение вместе с двумя привычками мышления, которые он упоминает.

Подсказка: Откуда вообще взялись понятия геометрии?

Ответ: Геометрическим понятиям более или менее точно соответствуют предметы природы, которые и являются единственной причиной их возникновения. Две привычки это показывают: мы видим в отрезке две отмеченные точки на практически твёрдом теле, и мы считаем три места лежащими на одной прямой, если при подходящем выборе точки наблюдения их видимые положения совпадают при рассматривании одним глазом.

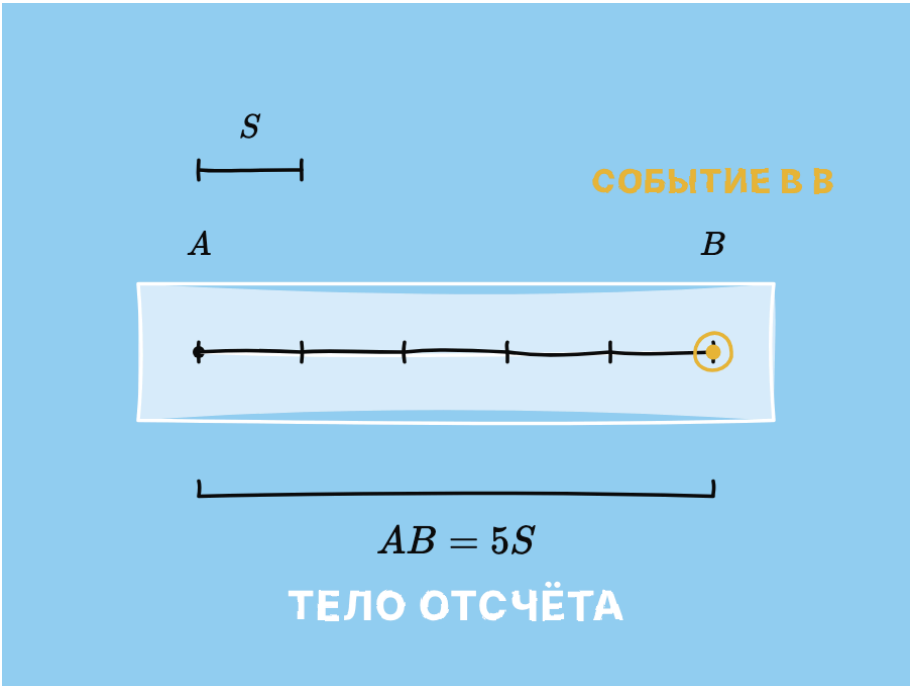
3. В каком смысле, по словам автора, несколько неточном, мы можем понимать истинность геометрического предложения, когда геометрия рассматривается как раздел физики, и почему он называет это убеждение предварительным?

Подсказка: Подумайте о том, что можно сделать циркулем и линейкой.

Ответ: Его истинность означает, что оно подтверждается при построении циркулем и линейкой, то есть для реальных вещей, сопоставленных геометрическим понятиям. Убеждение покоится лишь на довольно несовершенном опыте, поэтому оно принимается пока; общая теория относительности в конце книги покажет, что и в какой мере оно имеет границы.

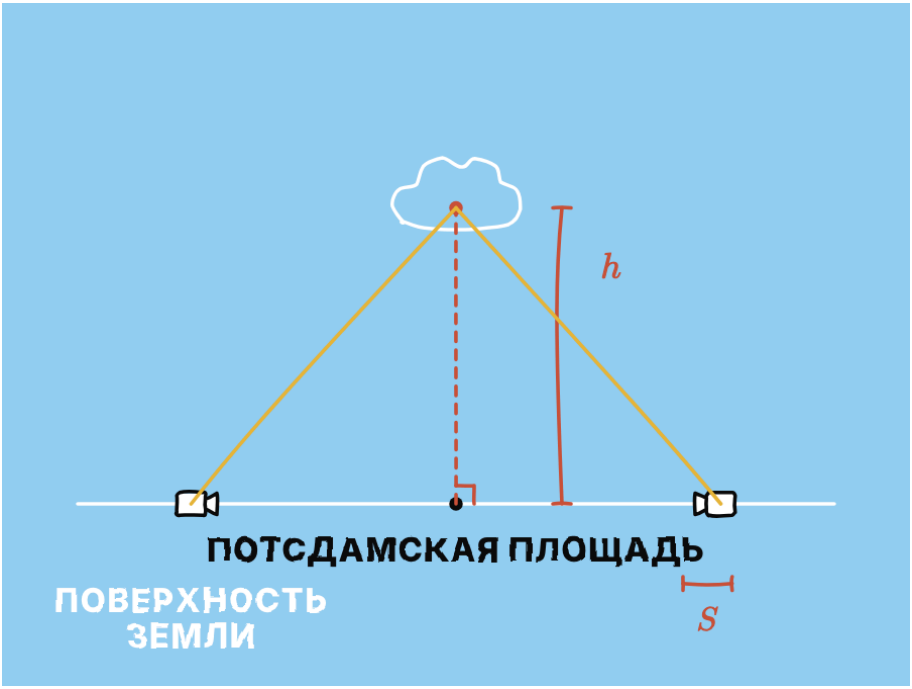
Система координат

На основании указанного физического истолкования расстояния мы в состоянии также установить измерением расстояние между двумя точками твёрдого тела. Для этого нам нужен отрезок, которым мы будем пользоваться раз и навсегда, палочка S, служащая единичным масштабом. Если теперь A и B — две точки твёрдого тела, то соединяющая их прямая может быть построена по законам геометрии; затем на этой соединяющей прямой можно откладывать отрезок S от A столько раз, сколько нужно, чтобы дойти до B. Число повторений этого откладывания есть мера отрезка AB. На этом покоится всякое измерение длин.



Измерение на теле отсчёта

Всякое пространственное описание места события или предмета основано на том, что указывают точку твёрдого тела, тела отсчёта, с которой это событие совпадает. Это относится не только к научному описанию, но и к повседневной жизни. Если я разберу указание места «в Берлине, на Потсдамской площади», оно означает следующее. Поверхность Земли есть твёрдое тело, к которому относится указание места; на ней «Потсдамская площадь в Берлине» есть отмеченная, снабжённая названием точка, с которой событие пространственно совпадает.



От именованного места к высоте

Этот первобытный способ указания места знает лишь места на поверхности твёрдых тел и связан с наличием различимых точек этой поверхности. Посмотрим, как человеческий ум освобождается от этих двух ограничений, причём сущность указания места не претерпевает никакого изменения. Если, например, над Потсдамской площадью плывёт облако, то его место относительно поверхности Земли можно установить, воздвигнув на площади вертикально шест, достигающий облака. Измеренная единичным масштабом длина шеста вместе с указанием места основания шеста есть тогда полное указание места. На этом примере мы видим, каким путём произошло уточнение понятия места.

Во-первых, твёрдое тело, к которому относится указание места, продолжают так, чтобы дополненное твёрдое тело достигало предмета, который нужно локализовать. Во-вторых, для характеристики места пользуются числом вместо именованных примет; здесь это измеренная масштабом длина шеста. В-третьих, о высоте облака говорят и тогда, когда шест, достигающий облака, вовсе не воздвигнут. В нашем случае по оптическим снимкам облака с различных мест на земле, с учётом свойств распространения света, определяют, какой длины нужно было бы сделать шест, чтобы он достиг облака.

Из этого рассуждения видно, что для описания мест будет выгодно, если с помощью измеренных чисел удастся стать независимыми от существования снабжённых названиями примет на твёрдом теле, к которому относится указание места. Этого измеряющая физика достигает применением декартовой системы координат.

Она состоит из трёх взаимно перпендикулярных жёстких плоских стенок, соединённых в одно твёрдое тело. Место любого события относительно системы координат описывается, в сущности, указанием длин трёх перпендикуляров, или координат (x, y, z), которые можно опустить из события на эти три плоские стенки. Длины этих трёх перпендикуляров могут быть определены последовательностью манипуляций с жёсткими стержнями, манипуляций, предписанных законами и методами евклидовой геометрии.

В приложениях жёсткие стенки, образующие систему координат, большей частью не осуществлены; и координаты определяются не построениями с жёсткими стержнями, а косвенно.

Физический смысл указаний места должен, однако, всегда отыскиваться согласно изложенным соображениям, если результаты физики и астрономии не должны расплыться в неясность.

Итак, получается следующее: всякое пространственное описание событий пользуется твёрдым телом, к которому события пространственно относятся. Это отнесение предполагает, что для «отрезков» справедливы законы евклидовой геометрии, причём «отрезок» физически представлен двумя метками на твёрдом теле.

Вопросы

1. Что такое мера отрезка AB, согласно отрывку?
   a. Число раз, которое единичный стержень S нужно отложить вдоль прямой от A до B
   b. Время, за которое сигнал проходит от A до B
   c. Число именованных меток, лежащих между A и B

2. Что означает указание места «в Берлине, на Потсдамской площади», если его разобрать?
   a. Что событие находится на определённом расстоянии от центра Земли
   b. Что событие пространственно совпадает с отмеченной, именованной точкой твёрдого тела, поверхности Земли
   c. Что событие имеет три координаты относительно перпендикулярных стенок

d. Что на площади можно воздвигнуть шест, достигающий события

3. Высоту облака находят по снимкам с нескольких мест на земле. Какое уточнение понятия места это иллюстрирует?
   a. Продолжение твёрдого тела до предмета
   b. Использование числа вместо именованных примет
   c. Разговор о высоте, хотя шест, достигающий облака, не воздвигнут
   d. Отнесение облака к точкам тела отсчёта

4. Почему физический смысл указаний места должен всегда отыскиваться в жёстких стержнях и твёрдых телах, хотя координаты обычно определяют косвенно?
   a. Потому что косвенные определения никогда не бывают достаточно точными
   b. Потому что три жёсткие стенки всегда действительно построены
   c. Потому что иначе результаты физики и астрономии расплывутся в неясность

Ответы

1. a) На прямой, соединяющей A и B, отрезок S откладывают от A столько раз, сколько нужно, чтобы дойти до B; число повторений есть мера отрезка, и на этом покоится всякое измерение длин.

2. b) Поверхность Земли — твёрдое тело, к которому относится указание; на ней Потсдамская площадь в Берлине — отмеченная, снабжённая названием точка, с которой событие пространственно совпадает.

3. c) О высоте облака говорят и тогда, когда шеста, достигающего его, нет; по снимкам, с учётом распространения света, определяют, какой длины должен был бы быть шест.

4. c) Стенки большей частью не осуществлены, и координаты находят косвенно, но их физический смысл должен отыскиваться согласно построениям со стержнями, иначе результаты физики и астрономии расплывутся в неясность.

Задачи

1. Опишите своими словами, из чего состоит декартова система координат и что такое три координаты события, и скажите, как в принципе определяются их значения.

> **Подсказка:** Начните с трёх жёстких плоских стенок и спросите, что можно опустить из события на каждую из них.
>
> **Ответ:** Она состоит из трёх взаимно перпендикулярных жёстких плоских стенок, соединённых в одно твёрдое тело. Место события описывается длинами трёх перпендикуляров, опущенных из события на стенки, координатами x, y, z. Эти длины определяются, в принципе, последовательностью манипуляций с жёсткими стержнями, предписанных законами и методами евклидовой геометрии.

2. Первобытный способ указания места связан с двумя ограничениями. Назовите их и объясните, как шест, воздвигнутый на Потсдамской площади, освобождает нас от каждого, не меняя сущности указания места.

> **Подсказка:** Что может и чего не может указать «Потсдамская площадь в Берлине»?
>
> **Ответ:** Он знает лишь места на поверхности твёрдых тел и нуждается в различимых, именованных точках этой поверхности.

Шест продолжает твёрдое тело вверх, так что облако, находящееся вне поверхности, оказывается достигнуто; а измеренная длина шеста, число, заменяет именованную примету. Указание по-прежнему называет точку твёрдого тела, с которой облако совпадает, так что его сущность не изменилась.

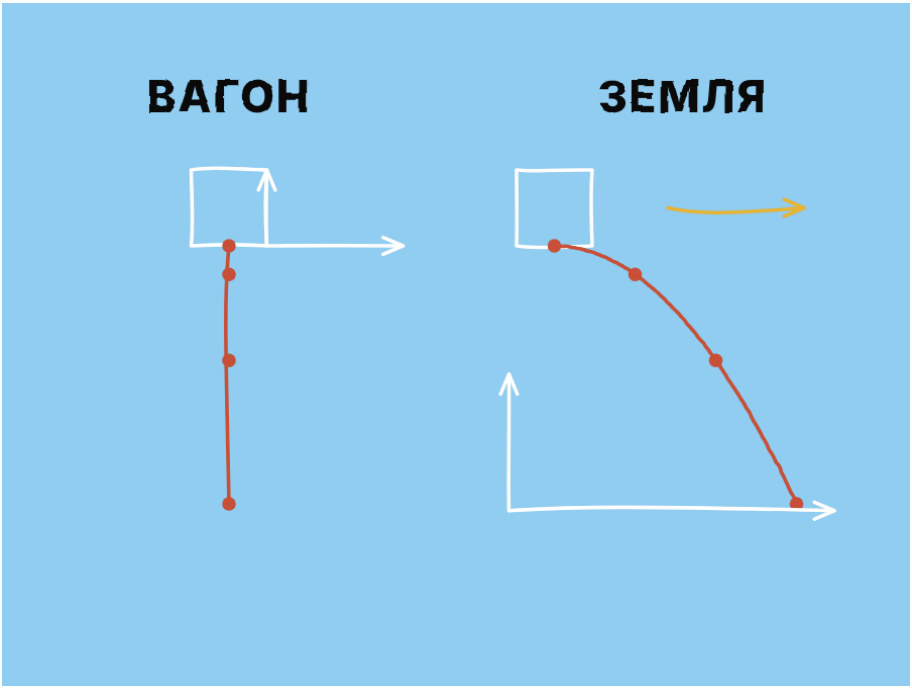
3. Сформулируйте вывод, к которому приходит отрывок относительно всякого пространственного описания событий, и скажите, что это описание предполагает об отрезках.

Подсказка: Весь результат несут два предложения в конце отрывка.

Ответ: Всякое пространственное описание событий пользуется твёрдым телом, к которому события пространственно относятся. Это отнесение предполагает, что для отрезков справедливы законы евклидовой геометрии, причём отрезок физически представлен двумя метками на твёрдом теле.

Пространство и время в классической механике

Если я без серьёзных сомнений и подробных пояснений сформулирую задачу механики так: «Механика должна описывать, как тела со временем меняют своё место в пространстве», то я возьму на свою совесть несколько смертных грехов против святого духа ясности; эти грехи нужно сперва раскрыть.

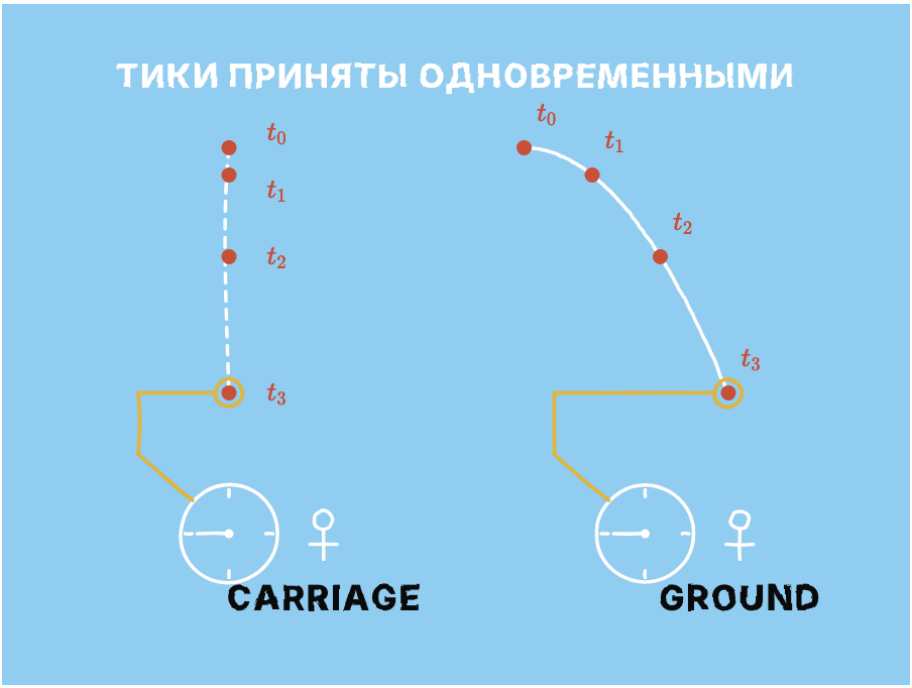


Одно падение, две траектории

Неясно, что здесь следует понимать под «местом» и «пространством». Я стою у окна равномерно движущегося железнодорожного вагона и роняю камень на насыпь, не придавая ему толчка. Тогда я вижу, если отвлечься от влияния сопротивления воздуха, что камень падает прямолинейно вниз. Пешеход, наблюдающий это злодеяние с тропинки, замечает, что камень падает на землю по дуге параболы. Теперь я спрашиваю: лежат ли «места», которые проходит камень, «в действительности» на прямой или на параболе? Что, далее, означает здесь движение «в пространстве»? После рассуждений предыдущего параграфа ответ самоочевиден. Прежде всего мы совершенно оставим в стороне тёмное слово «пространство», под которым, если честно признаться, мы не можем помыслить ровно ничего; вместо него мы поставим «движение относительно практически твёрдого тела отсчёта». Места относительно тела отсчёта, вагона или земли, уже подробно определены в предыдущем параграфе. Если вместо «тела отсчёта» мы введём полезное для математического описания понятие «система координат», то можем сказать: камень описывает прямую относительно системы координат, жёстко связанной с вагоном, и параболу относительно системы координат, жёстко связанной с землёй. На этом примере отчётливо видно, что траектории самой по себе не существует, а есть лишь траектория относительно определённого тела отсчёта.

Полное же описание движения получается лишь тогда, когда указывают, как тело меняет своё место со временем; то есть для каждой точки траектории нужно указать, в какое время тело там находится. Эти указания должны быть дополнены таким определением времени, чтобы в силу этого определения

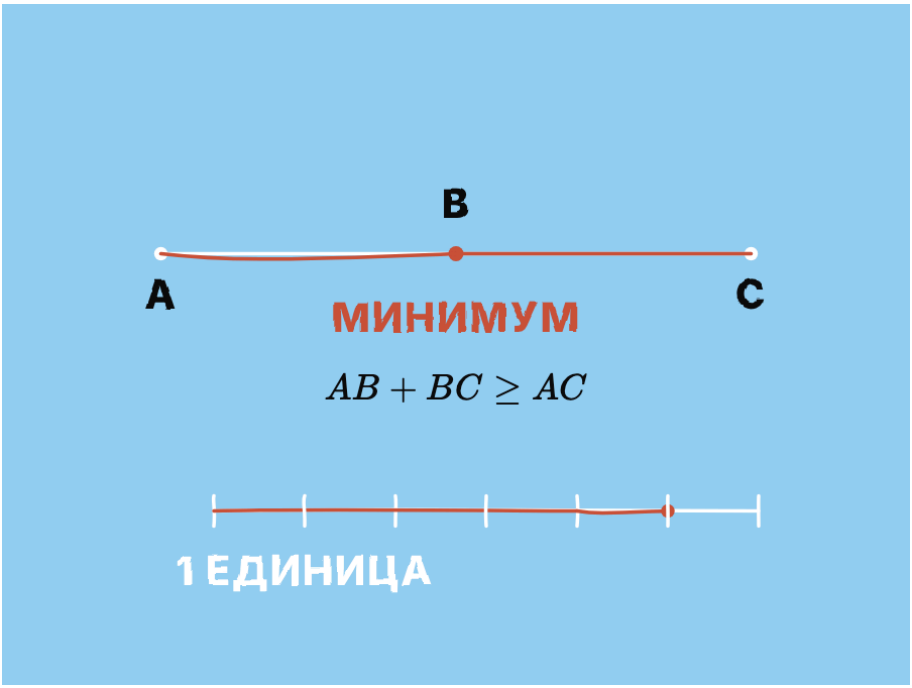
значения времени можно было рассматривать как принципиально наблюдаемые величины, результаты измерений. Стоя на почве классической механики, мы выполняем это требование для нашего примера следующим образом. Представим себе двое совершенно одинаково устроенных часов; одни держит в руке человек у окна вагона, другие — человек на тропинке. Каждый из них устанавливает, в каком месте своего тела отсчёта находится камень в тот момент, когда тикают часы, которые он держит в руке. При этом мы отказываемся входить в неточность, вносимую конечностью скорости распространения света. Об этом и о второй имеющейся здесь трудности подробно будет сказано позже.



Положения в паре со временем

Примечания.

Тем самым и прямой линии сопоставлен природный объект. Три точки A, B, C твёрдого тела лежат на одной прямой, если при заданных точках A и C точка B выбрана так, что сумма расстояний AB и BC оказывается наименьшей. Этого неполного указания в данной связи достаточно.



Прямизна и разделённые стержни

При этом, правда, предполагается, что измерение сходится, то есть даёт целое число. От этой трудности освобождаются применением разделённых масштабов, введение которых не требует принципиально нового метода.

Дальнейшее исследование того, что здесь означает «пространственное совпадение», не нужно, ибо это понятие ясно постольку, поскольку в каждом отдельном реальном случае разногласия о том, имеет оно место или нет, едва ли могут возникнуть.

Лишь общая теория относительности, рассматриваемая во второй части книжки, делает необходимым уточнение и изменение этих представлений.

Вопросы

1. Камень, уроненный из окна вагона, падает отвесно для человека у окна и по параболе для пешехода. На какой траектории лежат места камня «в действительности»?
   a. На параболе, потому что земля покоится
   b. На прямой, потому что камню не придали толчка
   c. Ни на какой: есть лишь траектория относительно определённого тела отсчёта

2. Почему автор оставляет в стороне слово «пространство» и говорит вместо этого о движении относительно практически твёрдого тела отсчёта?
   a. Потому что, если честно признаться, под «пространством» мы не можем помыслить ровно ничего, а места относительно тела отсчёта определены в предыдущем параграфе

b. Потому что пространство искривлено и его нельзя измерить жёсткими стержнями
c. Потому что вагон и земля движутся в пространстве с разными скоростями
d. Потому что тела отсчёта легче представить, чем пустое пространство

3. Чего ещё не хватает в описании движения, когда траектория относительно тела отсчёта известна?
   a. Массы камня и действующей на него силы
   b. Для каждой точки траектории — времени, когда тело там находится, определённого как принципиально наблюдаемая величина
   c. Скорости вагона относительно земли

4. Как, стоя на почве классической механики, двое наблюдателей получают времена для своих описаний?
   a. Они читают одни часы, поставленные на насыпи
   b. Каждый держит одни из двух одинаково устроенных часов и замечает, где камень на его теле отсчёта, когда тикают его часы
   c. Они вычисляют время по высоте, которую пролетел камень
   d. Они измеряют, сколько времени свет от камня идёт до них

Ответы

1. c) Траектории самой по себе не существует; камень описывает прямую относительно системы координат, связанной с вагоном, и

параболу относительно системы, связанной с землёй.

2. a) Тёмное слово «пространство» — то, под которым мы не можем помыслить ровно ничего; места относительно тела отсчёта, вагона или земли, уже подробно определены.

3. b) Полное описание получается лишь тогда, когда указывают, как тело меняет своё место со временем, и эти значения времени должны по своему определению считаться результатами измерений.

4. b) Двое совершенно одинаково устроенных часов, одни у окна вагона, другие на тропинке; каждый наблюдатель устанавливает, в каком месте своего тела отсчёта находится камень в момент, когда тикают его собственные часы.

Задачи

1. Опишите траекторию камня относительно системы координат, связанной с вагоном, и относительно связанной с землёй, и объясните, почему вопрос, какая траектория настоящая, не имеет ответа.

> **Подсказка:** Назовите тело отсчёта прежде, чем описывать траекторию.
>
> **Ответ:** Относительно вагона камень падает отвесно вниз; относительно земли он падает по дуге параболы. Траектории самой по себе нет, есть лишь траектория относительно определённого тела отсчёта, так что вопрос, в котором тело отсчёта не названо, ни о чём не спрашивает.

2. В примечаниях сказано, что три точки A, B, C твёрдого тела лежат на одной прямой, если B выбрана так, что сумма расстояний AB и BC наименьшая. Объясните своими словами, как это сопоставляет прямой природный объект и на какой прежней идее это основано.

Подсказка: Подумайте, что нужно, чтобы сравнивать сумму двух расстояний.

Ответ: Вместо того чтобы определять прямизну картинкой, прямизна определяется измерением: среди точек твёрдого тела на прямой через A и C лежат те, при которых сумма AB и BC наименьшая. Это основано на измерении расстояния откладыванием единичного стержня, так что прямая становится тем, что находят стержнями на реальном теле.

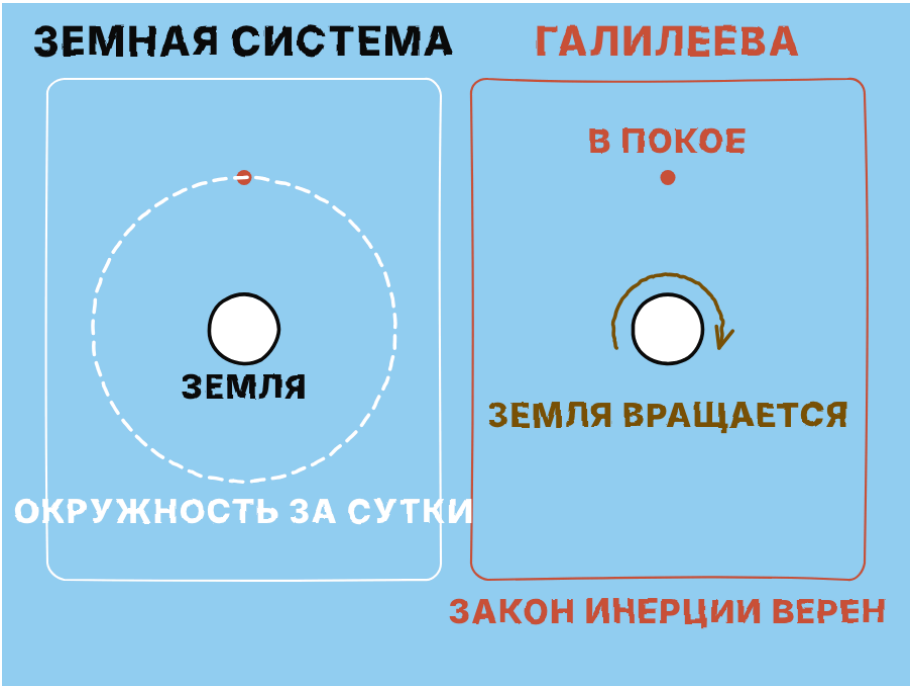
3. В какую неточность, по словам автора, он отказывается входить, когда тик часов сопоставляется с местом камня, и что он об этом обещает?

Подсказка: Спросите, как пешеход узнаёт, где камень в момент тика.

Ответ: В неточность, вносимую конечностью скорости распространения света: наблюдатель видит камень благодаря свету, которому нужно время, чтобы дойти. Он оставляет её здесь в стороне вместе со второй трудностью и обещает подробно сказать об обеих позже.

Галилеева система координат

Как известно, основной закон механики Галилея и Ньютона, известный под названием закона инерции, гласит: тело, достаточно удалённое от других тел, пребывает в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения. Это предложение говорит нечто не только о движении тел, но и о допустимых в механике телах отсчёта, или системах координат, которыми можно пользоваться при механическом описании. Тела, к которым закон инерции заведомо применим с большим приближением, — это видимые неподвижные звёзды. Если же мы пользуемся системой координат, жёстко связанной с Землёй, то относительно неё каждая неподвижная звезда описывает в течение одних астрономических суток окружность огромного радиуса, в противоречии с формулировкой закона инерции. Итак, если держаться этого закона, движения можно относить только к таким системам координат, относительно которых неподвижные звёзды не совершают круговых движений. Систему координат, состояние движения которой таково, что относительно неё справедлив закон инерции, мы называем «галилеевой системой координат». Только для галилеевой системы координат законы механики Галилея и Ньютона претендуют на справедливость.



Окружности или покой

Вопросы

1. Относительно системы координат, жёстко связанной с Землёй, что делает неподвижная звезда за одни астрономические сутки?
   a. Остаётся в покое, как требует закон инерции
   b. Описывает окружность огромного радиуса, вопреки формулировке закона инерции
   c. Движется равномерно по прямой
2. Что такое галилеева система координат?

a. Система координат, жёстко связанная с Землёй
b. Система координат, состояние движения которой таково, что относительно неё справедлив закон инерции
c. Любая система координат из трёх стенок под прямыми углами
d. Система координат, движущаяся вместе с неподвижными звёздами

3. Для каких систем координат законы механики Галилея и Ньютона претендуют на справедливость?
   a. Для любой системы координат
   b. Только для систем координат, связанных с Землёй
   c. Только для галилеевых систем координат

Ответы

1. b) Относительно системы, жёстко связанной с Землёй, каждая неподвижная звезда описывает за одни астрономические сутки окружность огромного радиуса, в противоречии с формулировкой закона инерции.

2. b) Система координат, состояние движения которой таково, что относительно неё справедлив закон инерции, называется галилеевой системой координат; неподвижные звёзды не совершают относительно неё кругового движения.

3. c) Только для галилеевой системы координат законы механики Галилея и Ньютона претендуют на справедливость.

Задачи

1. Объясните своими словами, почему система координат, жёстко связанная с Землёй, не является галилеевой, используя

неподвижные звёзды.

Подсказка: Спросите, какую траекторию описывает неподвижная звезда относительно земли за сутки и что, по закону инерции, она должна делать.

Ответ: Неподвижная звезда далека от всех других тел, поэтому по закону инерции она должна покоиться или двигаться равномерно по прямой. Относительно системы, связанной с Землёй, она вместо этого описывает раз в сутки окружность огромного радиуса. Закон относительно этой системы не выполняется, значит, система не галилеева.

2. Эйнштейн сохраняет закон инерции и отказывается от некоторых тел отсчёта. Сформулируйте правило, к которому это ведёт, и назовите род системы координат, который получается.

Подсказка: Чего не должны делать неподвижные звёзды относительно допустимой системы?

Ответ: Движения можно относить только к системам координат, относительно которых неподвижные звёзды не кружат. Система координат, в которой справедлив закон инерции, — галилеева система координат, и механика Галилея и Ньютона претендует на справедливость только для таких систем.

3. Приятель говорит, что закон инерции должен быть ложен, раз звёзды явно кружат каждую ночь. Ответьте ему с помощью идей этой части.

Подсказка: Отделите утверждение о телах от утверждения о телах отсчёта.

Ответ: Окружности — это траектории звёзд относительно вращающейся Земли, а траектория существует лишь относительно тела отсчёта. Закон претендует на справедливость только для галилеевых систем координат, в которых неподвижные звёзды не

кружат; земная система не из их числа, так что ночное небо противоречит выбору тела отсчёта, а не закону.