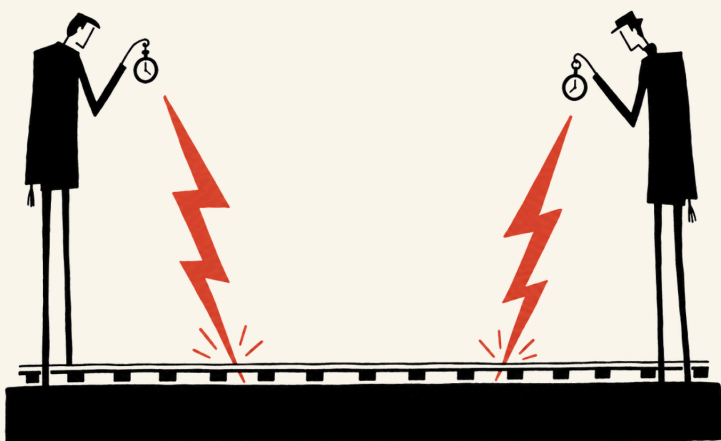


О специальной и общей теории относительности



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

Что делает геометрию истинной

Как сказать, где что находится

Траектории самой по себе нет

Какие тела отсчёта допустимы?

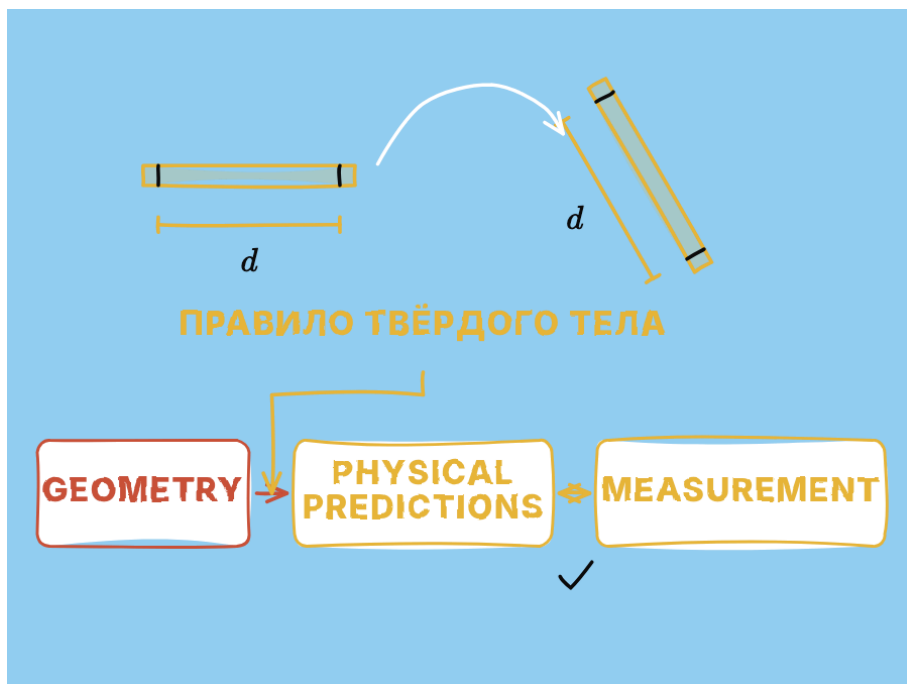
Что делает геометрию истинной

Измерьте кухонный стол рулеткой: шестьдесят сантиметров на восемьдесят. Прежде чем протянуть рулетку по диагонали, школьная геометрия говорит вам, что она покажет: сто сантиметров. Вы проверяете, и так и есть. Все говорят, что теорема только что показана истинной, а Эйнштейн открывает свою книгу вопросом, что это слово вообще может значить.

Вопрос, на который отвечает этот первый параграф, прост: в каком смысле утверждение геометрии истинно? Внутри самой геометрии теорема истинна лишь потому, что следует из аксиом, нескольких исходных утверждений, которые мы принимаем, потому что они кажутся очевидными. Истинны ли сами аксиомы — вопрос, на который геометрия ответить не может; Эйнштейн идёт дальше и говорит, что он вовсе лишён смысла, потому что «истинный» всегда означает согласие с какой-то реальной вещью, а чистая геометрия не о реальных вещах, а лишь о том, как её собственные понятия складываются друг с другом.

Отчего же тогда теорема кажется за столом истинной? Оттого, что понятия геометрии выросли из реальных предметов, и мы привыкли видеть в отрезке две метки на твёрдом теле, например рулетке или стержне, и считать три места лежащими в линию, когда один глаз может заставить их совпасть. Вот одна идея, на которой держится всё. Добавьте к геометрии одно физическое утверждение: две метки на практически твёрдом теле остаются на одном расстоянии друг от друга, как бы тело ни перемещали. С этим добавлением каждая теорема геометрии становится

утверждением о том, как могут располагаться реальные твёрдые тела, и геометрия превращается в раздел физики.



Физический мост

На практике из этого следует, что теорему теперь можно проверить, а значит, она может быть истинной или ложной в обычном смысле: она истинна, когда с ней согласно построение из реальных тел, циркулем и линейкой или рулеткой на столешнице. Ваша проверка за столом была физическим опытом, и он удался. То же самое происходит всякий раз, когда ваш телефон определяет своё положение: приёмник превращает измеренные расстояния до нескольких спутников в место на карте с помощью обычной геометрии, и метод считается верным потому, что место совпадает с тем, где вы на самом деле.

Эйнштейн добавляет одно предостережение, которое проходит через всю книгу. Убеждённость в том, что геометрия истинна в этом физическом смысле, покоится на довольно несовершенном опыте, поскольку ни одна рулетка не бывает совершенно твёрдой, а ни один глаз — совершенно прямым. Он принимает эту истинность пока, как рабочее допущение, и обещает показать в конце книги, в общей теории относительности, что у неё есть границы. За рамками остались более тонкие шаги рассуждения Эйнштейна, например его замечания о нашей школьной выучке по Евклиду и точные формулировки его определений; они в первом параграфе книги.

Запомним

Внутри чистой геометрии теорема истинна лишь потому, что следует из аксиом, а вопрос об истинности аксиом там лишён смысла. Добавьте одно физическое утверждение, что две метки на твёрдом теле сохраняют расстояние между собой, как бы тело ни перемещали, и геометрия станет разделом физики, теоремы которого можно проверять на реальных вещах. Тогда теорема истинна, когда с ней согласны реальные тела, рулетка на столе или спутниковый приёмник. Это согласие покоится на несовершенном опыте; Эйнштейн пока принимает его и покажет его границы в общей теории относительности.

Вопросы

1. Внутри самой геометрии, почему теорема истинна?
 - a. Потому что рулетка на столе с ней согласна
 - b. Потому что она следует из аксиом, исходных утверждений, которые мы принимаем как очевидные
 - c. Потому что внимательные люди находят её убедительной
2. Почему Эйнштейн говорит, что вопрос об истинности аксиом вовсе лишён смысла?
 - a. Потому что аксиомы слишком просты, чтобы в них сомневаться
 - b. Потому что никто не нашёл способа их проверить
 - c. Потому что «истинный» означает согласие с реальной вещью, а чистая геометрия не о реальных вещах
 - d. Потому что каждую аксиому можно доказать из остальных
3. Какая одна идея, по этой части, держит на себе всё?
 - a. Что две метки на практически твёрдом теле остаются на одном расстоянии, как бы тело ни перемещали
 - b. Что аксиомы геометрии подтверждены опытом
 - c. Что спутниковый приёмник пользуется геометрией, чтобы найти положение
 - d. Что геометрию нужно держать отдельно от физики
4. В каком духе Эйнштейн принимает физическую истинность геометрии?
 - a. Как доказанную вне всяких сомнений бесчисленными измерениями

- б. Как рабочее допущение, покоящееся на несовершенном опыте, границы которого проявятся позже в книге
- с. Как соглашение, которое можно заменить любым другим

Ответы

1. б) Внутри геометрии теорема истинна лишь потому, что следует из аксиом; истинны ли сами аксиомы — вопрос, на который геометрия ответить не может.

2. с) «Истинный» всегда означает согласие с какой-то реальной вещью, а чистая геометрия не о реальных вещах, а лишь о том, как её собственные понятия складываются друг с другом.

3. а) Добавьте это одно физическое утверждение, и каждая теорема геометрии станет утверждением о том, как могут располагаться реальные твёрдые тела; геометрия превращается в раздел физики.

4. б) Убеждённость покоится на довольно несовершенном опыте; он принимает эту истинность пока как рабочее допущение и обещает показать, в общей теории относительности, что у неё есть границы.

Задачи

1. Приятель говорит: «Теорема Пифагора верна, я проверил её рулеткой». В каком смысле он прав, а в каком не проверил ровно ничего?

Подсказка: Отделите теорему как нечто, следующее из аксиом, от теоремы как утверждения о рулетке на столе.

Ответ: В физическом смысле он прав: как только мы добавили, что рулетка — твёрдое тело, метки которого сохраняют расстояние, теорема стала утверждением о реальных вещах, и стол с ней согласился. Внутри чистой геометрии он не проверил ничего, потому

что там теорема истинна лишь тем, что следует из аксиом, и никакое измерение к этому не относится.

2. Объясните, почему теорему можно проверить, а значит, она может быть истинной или ложной в обычном смысле, лишь после того, как к геометрии добавлено одно физическое утверждение о твёрдых телах.

Подсказка: Спросите, о чём теоремы до добавления и после него.

Ответ: До добавления теоремы — о понятиях и говорят лишь о том, что следует из аксиом, так что сравнивать их не с чем. После него они — утверждения о том, как могут располагаться реальные твёрдые тела, так что построение циркулем и линейкой или рулетка на столешнице могут с ними согласиться или нет, и слово «истинно» становится применимо.

3. Почему Эйнштейн называет нашу убеждённость в истинности геометрии делом несовершенного опыта, и что он об этом обещает?

Подсказка: Подумайте, что такое на самом деле рулетка и глаз.

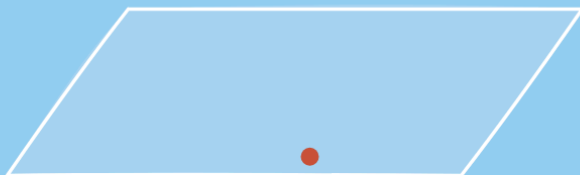
Ответ: Убеждённость покоится лишь на опыте с реальными вещами, а ни одна рулетка не бывает совершенно твёрдой и ни один глаз — совершенно прямым, так что согласие приблизительно. Он принимает эту истинность пока и обещает показать в конце книги, в общей теории относительности, что у неё есть границы.

Как сказать, где что находится

Измерьте дверной проём короткой линейкой: приложите её к косяку, отметьте, где она кончается, приложите снова от отметки и считайте. Три длины линейки и немного, и это и есть измерение. Этот параграф отвечает на один вопрос: что мы на самом деле делаем, когда измеряем длину или говорим, где что-то находится?

ИЗМЕРЕНИЕ И МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ

ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ



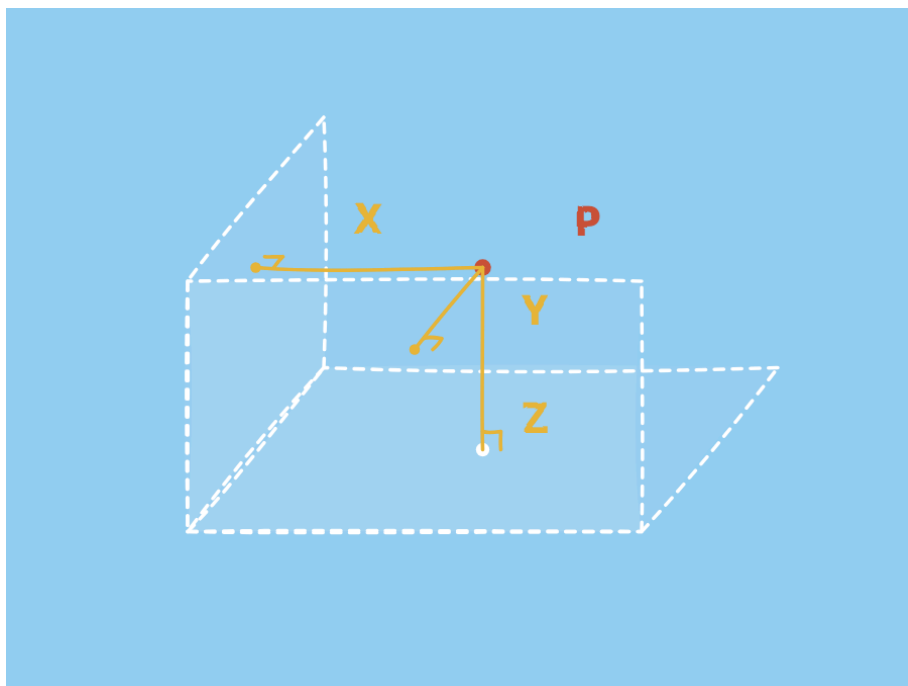
ПОТСДАМСКАЯ ПЛОЩАДЬ

Измерение и местоположение

Всё держится на двух идеях. Первая — единичный стержень: выберите один отрезок, две метки на твёрдом теле, раз и

навсегда, и расстояние между любыми двумя точками — это число раз, которое этот стержень нужно уложить вдоль прямой между ними. Всякая рулетка и всякий лазерный дальномер сводятся к этому счёту. Вторая — тело отсчёта: сказать, где находится вещь, значит назвать точку некоторого твёрдого тела, с которой она совпадает. «В Берлине, на Потсдамской площади» называет точку на поверхности Земли, а поверхность Земли — твёрдое тело, к которому относится это указание.

Затем Эйнштейн показывает, как эта простая идея растягивается, не меняя своей природы. У облака над площадью нет собственной приметы, так что представьте шест, поставленный на площади и достаточно высокий, чтобы достать до него; измеренная длина шеста вместе с местом его основания говорит, где облако. Произошли три вещи: твёрдое тело продолжено до облака, число заменило именованную примету, и мы можем говорить о высоте облака, даже когда никакого шеста нет, вычисляя по снимкам, какой длины он должен был бы быть.



От примет к координатам

На практике из этого следует система координат: три жёсткие плоские стенки под прямыми углами, как две стены и пол, сходящиеся в углу комнаты, и любая точка задана тремя расстояниями до них, своими координатами. Никто не строит стенок, признаёт Эйнштейн, и числа находят косвенно; спутниковый приёмник у вас в кармане вычисляет свои три координаты по тому, сколько времени шли сигналы от нескольких спутников, как высоту облака вычислили по снимкам. И всё же смысл каждого такого числа должен оставаться тем, чем был: стержни, приложенные к твёрдому телу, иначе физика и астрономия расплывутся в неясность.

Итак, всякое описание того, где что находится, пользуется твёрдым телом, к которому вещи относятся, и предполагает, что обычная геометрия верна для отрезков на твёрдых телах, допущение, принятое условно в прошлый раз. За рамками остались замечания Эйнштейна о том, как координаты находят построениями со стержнями, предписанными евклидовой геометрией; они во втором параграфе книги.

Запомним

Расстояние — это число раз, которое выбранный единичный стержень умещается вдоль прямой между двумя точками. Сказать, где что-то находится, значит назвать точку твёрдого тела отсчёта, с которой оно совпадает. Идея растягивается продолжением тела отсчёта, использованием измеренных чисел вместо примет и разговором о длине даже тогда, когда стержень лишь воображаем. Система координат, три жёсткие стенки под прямыми углами, превращает любое место в три числа, и даже положение спутникового приёмника означает стержни у твёрдого тела. Всё это предполагает, что обычная геометрия верна для отрезков на твёрдых телах.

Вопросы

1. Что такое расстояние между двумя точками, по этой части?

- a. Число раз, которое выбранный единичный стержень умещается вдоль прямой между ними
 - b. Время, за которое сигнал проходит от одной до другой
 - c. Число примет между ними
2. Что означает «в Берлине, на Потсдамской площади», если это разобрать?
- a. Что у места три координаты, измеренные от стенок
 - b. Что событие на определённом расстоянии от центра Земли
 - c. Что событие совпадает с именованной точкой твёрдого тела, поверхности Земли
 - d. Что шест на площади дотянулся бы до события
3. Высоту облака вычисляют по снимкам, и никакого шеста нет. Какое это растяжение идеи места?
- a. Продолжение твёрдого тела настоящим шестом
 - b. Разговор о длине, хотя стержень, который её измерил бы, существует лишь в воображении
 - c. Обращение с облаком как с приметой на земле
 - d. Замена Земли другим телом отсчёта
4. Почему координаты спутникового приёмника всё же должны означать стержни, приложенные к твёрдому телу?
- a. Потому что спутниковые сигналы менее точны, чем стержни
 - b. Потому что три стенки системы координат всегда построены

с. Потому что иначе физика и астрономия расплывутся в
неясность

Ответы

1. а) Выберите один отрезок раз и навсегда как единичный стержень; расстояние между любыми двумя точками — это число раз, которое этот стержень нужно уложить вдоль прямой между ними, и всякая рулетка и дальномер сводятся к этому счёту.
2. с) Сказать, где находится вещь, значит назвать точку некоторого твёрдого тела, с которой она совпадает; здесь поверхность Земли — тело отсчёта, а Потсдамская площадь — именованная точка на ней.
3. б) Мы можем говорить о высоте облака, даже когда никакого шеста нет, вычисляя по снимкам, какой длины он должен был бы быть; шест воображаемый, длина измерена.
4. с) Числа находят косвенно, как высоту облака по снимкам, но смысл каждого такого числа должен оставаться тем, чем был, стержнями, приложенными к твёрдому телу, иначе физика и астрономия расплывутся в неясность.

Задачи

1. Объясните своими словами, что такое три координаты лампы в комнате, если принять за систему координат угол, где две стены сходятся с полом, и как в принципе можно измерить каждую.

Подсказка: Представьте стены и пол как три жёсткие поверхности под прямыми углами.

Ответ: Две стены и пол — три жёсткие плоские поверхности под прямыми углами, соединённые в одно твёрдое тело. Координаты лампы — её три расстояния до них, и каждое расстояние находится, в принципе, укладыванием единичного стержня вдоль

перпендикуляра к этой поверхности и счётом, сколько раз он уместился.

2. Назовите три вещи, которые происходят, когда с помощью шеста говорят, где облако, и скажите, почему природа указания места не изменилась.

Подсказка: Начните с того, что может и чего не может указать примета на земле.

Ответ: Твёрдое тело продолжено шестом до облака; число, измеренная длина шеста, заменило именованную примету; и мы говорим о высоте, даже когда никакого шеста нет, вычисляя её по снимкам. Указание по-прежнему называет точку твёрдого тела, с которой облако совпадает, так что его природа не изменилась.

3. Какое допущение о геометрии лежит в основе всякого описания того, где что находится, и где этот курс впервые с ним встретился?

Подсказка: Вспомните, что в первой части было принято условно.

Ответ: Всякое такое описание относит события к твёрдому телу и предполагает, что обычная евклидова геометрия верна для отрезков, двух меток на твёрдом теле. Это физическая истинность геометрии, принятая условно в первой части, покоящаяся на несовершенном опыте, границы которой проявятся в общей теории относительности.

Траектории самой по себе нет

Сядьте у окна плавно идущего поезда и уроните камень из руки. Вы видите, как он падает отвесно на насыпь. Пешеход у путей видит, как тот же камень падает по кривой, увлекаемый вперёд вместе с поездом, пока падает. Один камень, два свидетеля, две траектории, и этот параграф спрашивает, какая из них настоящая.



Один камень, два тела отсчёта

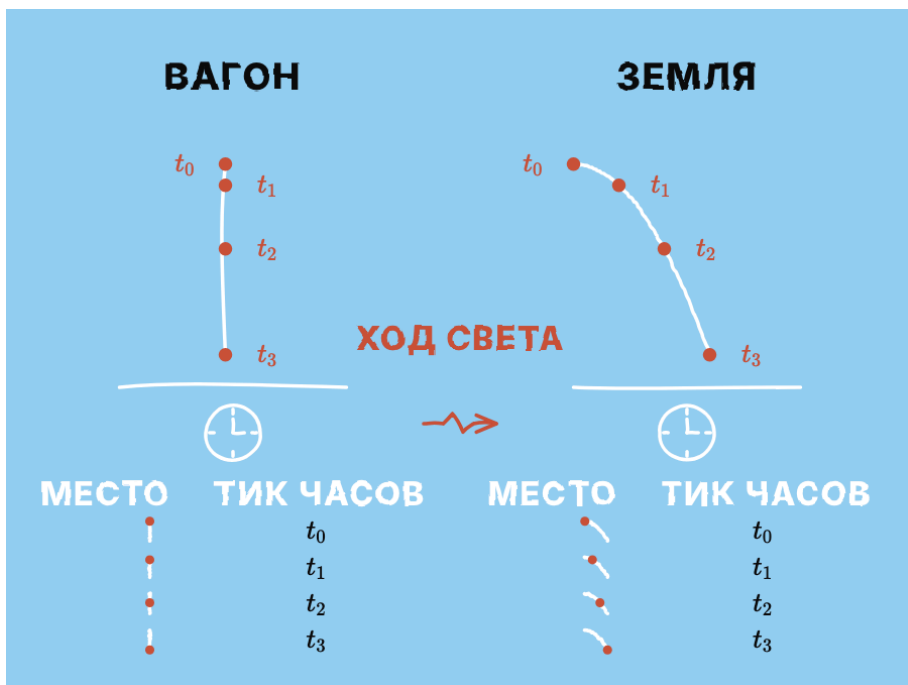
Эйнштейн начинает с признания, что обычная формулировка того, чем занимается механика, описанием того, как тела со

временем меняют своё место в пространстве, грешит против ясности. Беда прячется в словах «место» и «пространство». Лежат ли места, которые проходит камень, на самом деле на прямой или на кривой, и что вообще значит двигаться «в пространстве»?

На оба вопроса отвечает одна идея. «Пространство», если быть честными, слово, с которым мы не связываем никакого ясного представления, так что Эйнштейн его отбрасывает и говорит вместо этого «движение относительно твёрдого тела отсчёта». Места относительно тела отсчёта — то, что предыдущий параграф научил нас задавать, и здесь предлагаются два тела отсчёта, вагон и земля. Относительно вагона камень падает по прямой; относительно земли — по кривой. Ни одна не настоящая при другой иллюзорной: траектории самой по себе нет, есть лишь траектория относительно определённого тела отсчёта. Уберите тело отсчёта из фразы, и фраза ничего не скажет. Спутниковый приёмник живёт по этому правилу; он сообщает ваше движение относительно поверхности Земли, так что пассажир поезда читает сто километров в час, сидя неподвижно относительно вагона, и ни одно из чисел не ошибочно.

На практике из этого следует второе требование. Траектория — ещё не движение; нужно ещё сказать, когда камень находится в каждой её точке, и эти времена должны быть тем, что можно измерить, а не числами, взятыми из воздуха. В обычной механике Эйнштейн делает это просто: двое совершенно одинаковых часов, одни в руке пассажира, другие в руке пешехода, и каждый отмечает, где камень на его собственном теле отсчёта при каждом тике его собственных часов. Список

мест в паре с тиками есть полное описание движения относительно этого тела отсчёта.



Каждому месту — своё время

Эйнштейн заканчивает двумя предостережениями, отложенными на потом: сопоставление тика с местом не учитывает, что свету нужно время, чтобы дойти, и таится вторая трудность, которую он пока не называет. Они не малы; спутниковые часы, питающие ваш приёмник, уходили бы на километры в день, если бы такими вещами пренебрегли, и остальная часть книги принимает их всерьёз. За рамками остались примечания Эйнштейна о том, как прямая определяется наименьшим расстоянием на твёрдом теле, и о разделённых масштабах; они в конце третьего параграфа. Так что

этот отрезок книги останавливается там, где останавливается его рассуждение: геометрия, ставшая реальной благодаря твёрдым телам, места, заданные стержнями относительно тела отсчёта, и движение, существующее лишь относительно тела отсчёта и часов.

Запомним

«Движение в пространстве» ничего не значит, пока расплывчатое слово «пространство» не заменено твёрдым телом отсчёта. Камень падает отвесно относительно вагона и по кривой относительно земли, и ни одна траектория не реальнее другой; траектории самой по себе нет. Полное описание движения требует ещё времени в каждой точке, взятого с часов в руке наблюдателя и сопоставленного с местом камня на его собственном теле отсчёта. Две трудности отложены, время хода света и вторая, ещё не названная, и остальная часть книги берётся за них.

Вопросы

1. Камень падает отвесно для пассажира и по кривой для пешехода. Какая траектория настоящая?
 - а. Кривая, потому что земля покоится
 - б. Прямая, потому что камню не придали толчка
 - с. Ни та, ни другая: траектории самой по себе нет, есть лишь траектория относительно тела отсчёта

2. Почему Эйнштейн заменяет «движение в пространстве» на «движение относительно твёрдого тела отсчёта»?
- a. Потому что со словом «пространство» мы не связываем никакого ясного представления, а места относительно тела отсчёта уже определены
 - b. Потому что пространство искривлено и его нельзя измерить
 - c. Потому что поезд движется в пространстве быстрее пешехода
 - d. Потому что твёрдые тела легче нарисовать
3. Какое второе требование превращает траекторию в описание движения?
- a. Масса камня и сила, действующая на него
 - b. Указание, когда камень находится в каждой точке траектории, как чего-то измеримого
 - c. Скорость поезда относительно земли
4. Как в обычной механике получают времена в примере Эйнштейна?
- a. С одних часов на насыпи
 - b. Вычислением по высоте, которую пролетел камень
 - c. С двух одинаковых часов: каждый наблюдатель отмечает, где камень на его собственном теле отсчёта при каждом тике
 - d. Измерением времени хода света от камня

Ответы

1. **с)** Ни одна траектория не настоящая при другой иллюзорной; траектории самой по себе нет, есть лишь траектория относительно определённого тела отсчёта.
2. **а)** «Пространство», если быть честными, слово, с которым мы не связываем никакого ясного представления; места относительно тела отсчёта — то, что предыдущий параграф научил нас задавать.
3. **б)** Траектория — ещё не движение; нужно ещё сказать, когда камень находится в каждой её точке, и эти времена должны быть тем, что можно измерить, а не числами, взятыми из воздуха.
4. **с)** Двое совершенно одинаковых часов, одни у пассажира, другие у пешехода, и каждый отмечает, где камень на его собственном теле отсчёта при каждом тике его собственных часов.

Задачи

1. Опишите траекторию камня относительно вагона и относительно земли и объясните, почему спрашивать, какая траектория настоящая, значит не спрашивать ничего.

Подсказка: Назовите тело отсчёта, прежде чем описывать траекторию.

Ответ: Относительно вагона камень падает отвесно; относительно земли он движется вперёд вместе с поездом, пока падает, и вычерчивает кривую. Траектории самой по себе нет, есть лишь траектория относительно определённого тела отсчёта, так что вопрос, в котором тело отсчёта опущено, ничего не говорит.

2. Почему список мест в паре с тиками часов есть полное описание движения, а одна траектория — нет?

Подсказка: Спросите, что тик добавляет к точке траектории.

Ответ: Одна траектория говорит, где камень прошёл, но не когда. Список даёт время в каждой точке, и, поскольку каждое время — тик

часов в руке наблюдателя, это нечто измеренное, чего и требует полное описание.

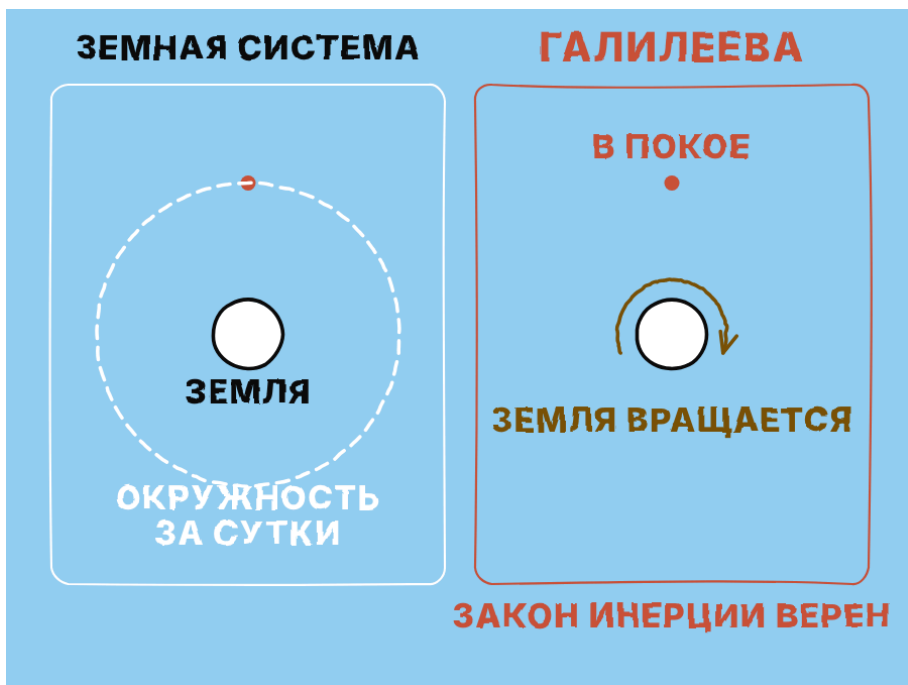
3. Какие две трудности Эйнштейн откладывает в конце этого параграфа, и почему он пока может себе это позволить?

Подсказка: Подумайте, как пешеход видит камень в момент тика.

Ответ: Сопоставление тика с местом не учитывает, что свету нужно время, чтобы дойти, так что камень виден там, где он был мгновение назад; и таится вторая трудность, которую он пока не называет. Он откладывает их, потому что пока стоит на почве обычной механики, и обещает подробно разобрать обе позже в книге.

Какие тела отсчёта допустимы?

Камера, оставленная открытой на ночное небо на час, показывает каждую звезду дугой окружности, хотя звёзды никто не толкает. Этот параграф отвечает на один вопрос: какими телами отсчёта физика может пользоваться для описания движения?



Окружности или покой

Всё держится на законе инерции: тело, далёкое от всех других тел, остаётся в покое или движется равномерно по прямой. Поскольку траектория есть лишь траектория относительно тела отсчёта, закон — это ещё и правило о телах отсчёта.

Относительно системы, закреплённой на Земле, неподвижные звёзды кружат раз в сутки, вопреки закону в его формулировке; Эйнштейн сохраняет закон и отказывается от Земли как тела отсчёта.

На практике из этого следует: движение можно относить только к телам отсчёта, относительно которых неподвижные звёзды не кружат. Такая система, в которой справедлив закон инерции, — галилеева система координат, и механика Галилея и Ньютона претендует на справедливость только для них. Спутниковая навигация вычисляет свои орбиты в такой системе, с осями, закреплёнными по звёздам, прежде чем переводить на вращающуюся Землю. За рамками осталась только собственная формулировка закона у Эйнштейна; она в четвёртом параграфе книги. Так первые четыре параграфа заканчиваются разбором тел отсчёта, и этот разбор — то, с чего начинается остальная часть книги.

Запомним

Закон инерции — это правило о телах отсчёта в той же мере, что и о телах. Земля не такое тело, в котором он справедлив, поскольку неподвижные звёзды кружат относительно неё. Тела отсчёта, в которых закон справедлив, — галилеевы системы координат, и механика Галилея и Ньютона верна только для них.

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. Двигается равномерно по прямой
2. Почему закон инерции — утверждение о телах отсчёта в той же мере, что и о телах?
 - a. Потому что тела отсчёта сами далеки от всех других тел
 - b. Потому что покой или равномерное прямолинейное движение — таковы только относительно названного тела отсчёта
 - c. Потому что закон нашли, наблюдая неподвижные звёзды
 - d. Потому что телами отсчёта могут быть только твёрдые тела
3. 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

4. Для каких систем координат законы механики Галилея и Ньютона претендуют на справедливость?
- а. Для любой системы координат
 - б. Только для систем координат, связанных с Землёй
 - с. Только для галилеевых систем координат

Ответы

1. **б)** Относительно системы, жёстко связанной с Землёй, каждая неподвижная звезда описывает за одни астрономические сутки окружность огромного радиуса, в противоречии с формулировкой закона инерции.
2. **б)** Закон говорит нечто не только о движении тел, но и о том, какие тела отсчёта или системы координат можно использовать при механическом описании, поскольку движение всегда есть движение относительно тела отсчёта.
3. **б)** Система координат, состояние движения которой таково, что относительно неё справедлив закон инерции, называется галилеевой системой координат; неподвижные звёзды не совершают относительно неё кругового движения.
4. **с)** 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.