

Математические начала натуральной философии



Isaac Newton · 1687

Иллюстрированные аудиолекции

Lecturized

Математические начала натуральной философии

Иллюстрированные аудиолекции

Isaac Newton · 1687

Пересказано в иллюстрированных лекциях Lecturized
lecturized.com

По оригиналу: The Mathematical Principles of Natural Philosophy, translated by
Andrew Motte (first American edition, 1846)

Содержание

Вещество, движение и тяга к центру

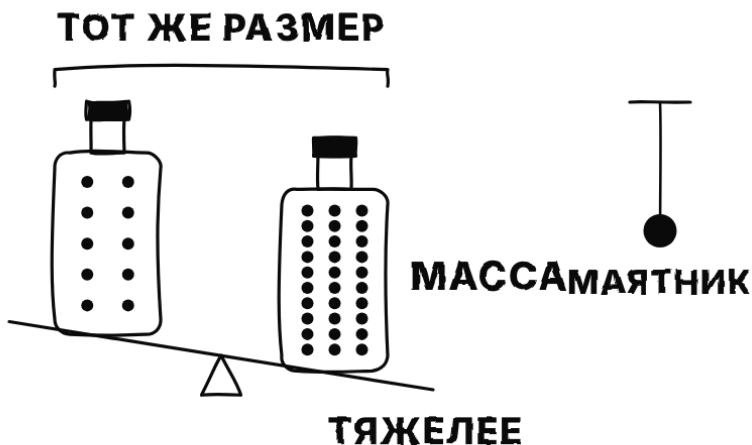
Вес, время и где вещи на самом деле

Вращающееся ведро и неравные сутки

Как найти истинное движение

Вещество, движение и тяга к центру

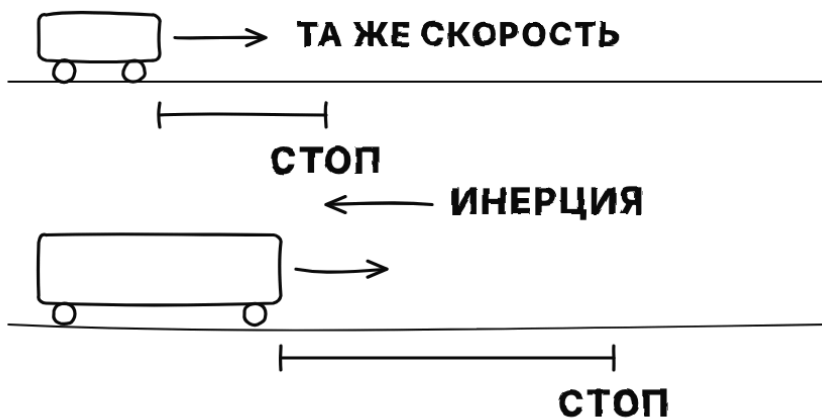
Возьмите две одинаковые жёсткие бутылки для воды: в одной воздух обычного давления, другая туго накачана велосипедным насосом. Они одного размера, но в одной воздуха гораздо больше, чем в другой. Значит, величина вещи не говорит, сколько в ней вещества. Ньютон начинает свою великую книгу именно здесь — с простого вопроса, сколько материи в теле, ещё до того, как появится хоть один закон движения.



Тот же размер, больше вещества

Его ответ: количество материи зависит от двух вещей вместе — насколько плотно она упакована и сколько места занимает. Упакуйте тот же воздух плотнее или дайте ему занять больше места — и его станет больше; сделайте и то и другое — и эффекты сложатся друг на друга. Снег, спрессованный в лёд, или мука, сжатая в лепёшку, меняет размер и упаковку, но не количество материи в себе. Это количество Ньютон называет массой и замечает нечто удивительное: оно всегда идёт рука об руку с весом. Он проверил это очень тщательными опытами с маятниками, которые качаются в одном темпе, из какого бы вещества ни были сделаны их грузы. Вот почему весы в ванной, которые чувствуют лишь, насколько сильно вы на них давите, могут честно назвать вашу массу в килограммах.

Дальше идёт количество движения, которое мы теперь называем импульсом: оно зависит от того, сколько материи движется и как быстро. Тело — это просто сумма его частей, так что вдвое больше материи, движущейся в том же темпе, несёт вдвое больше движения, а если сделать её быстрее, добавится ещё. Грузёный фургон, катящийся с той же скоростью, что и маленький автомобиль, несёт гораздо больше движения, и именно поэтому ему нужно столько больше дороги, чтобы остановиться.

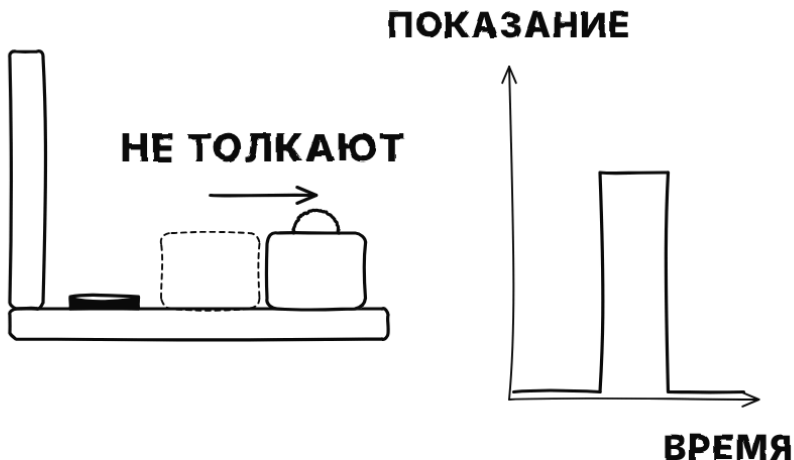


Тяжёлое и быстрое трудно остановить

Затем Ньютон даёт имя тому, что все ощущали: упрямству материи. Всякое тело, насколько может, продолжает делать то, что уже делает: стоит, если неподвижно, и скользит прямо вперёд в ровном темпе, если движется. Ньютон называет это силой бездействия, и от его латинского названия происходит наше слово «инерция». Она проявляется лишь тогда, когда что-то пытается изменить то, что делает тело; тогда с одной стороны она ощущается как сопротивление, а с другой — как толчок. И он вставляет предупреждение, которое станет важным позже: «покоится» что-то или «движется», обычно судят лишь сравнивая с вещами вокруг, и то, что кажется неподвижным, может не быть неподвижным по-настоящему.

Опыт

Положите телефон плашмя на пассажирское сиденье автомобиля и откройте любое бесплатное приложение с датчиками, показывающее акселерометр. На прямой дороге при ровной скорости показание почти не меняется. Когда водитель тормозит, показание подскакивает, а незакреплённая сумка на сиденье съезжает вперёд. Сумку никто не толкал: она просто продолжала двигаться, пока машину заставляли остановиться, — это инерция, пойманная с поличным.



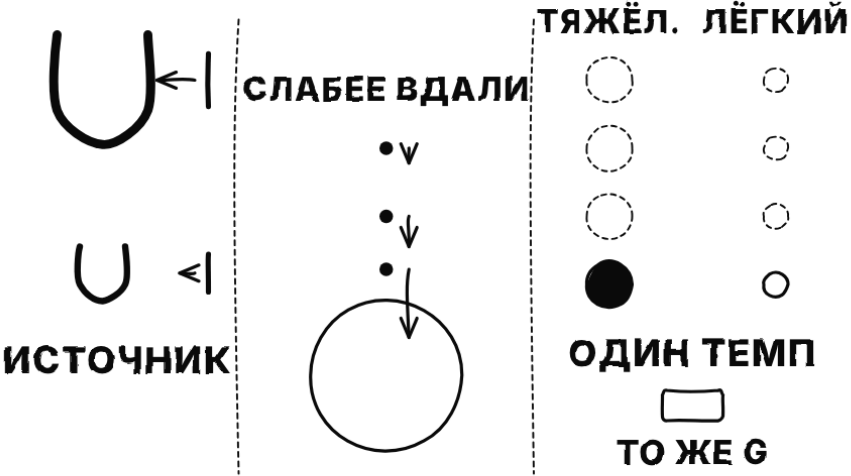
Сумка едет дальше

Сила для Ньютона — это действие, меняющее то, что делает тело, и она существует лишь пока действует. Когда толчок закончился, тело ничего от него в себе не хранит; оно просто продолжает в новом состоянии по инерции. Толчки бывают от ударов, от давления и от тяги к центру. Тормоза работают лишь пока ваша нога давит на педаль; когда машина замедлилась, она сохраняет новую скорость, хотя ничто уже не давит.

Тяга к центру — это сила, о которой вся его книга, и он называет её центростремительной, стремящейся к центру. Тяжесть тянет вещи к середине Земли, магнит тянет к себе железо, и какая-то сила всё время загибает планеты с прямых путей на их орбиты. Его образ — камень, вращаемый в праче: он рвётся улететь, тем сильнее, чем быстрее движется, и тяга прачи назад к руке — вот что заставляет его ходить по кругу. Отпустите — и камень умчится по прямой, как умчалось бы без такой тяги всякое тело на орбите.

Затем идёт его самый знаменитый образ: пушка на вершине горы, стреляющая ядром параллельно земле. Выстрелите быстрее — и ядро упадёт дальше; ещё быстрее — и изгиб его падения совпадёт с изгибом Земли, так что оно никогда не упадёт и будет всё время падать вокруг планеты. Луну держит так же — тяга ровно нужной силы: слишком слабая, и Луна уплыла бы, слишком сильная — упала бы. Каждый спутник GPS, которого слушает ваш телефон, — это ядро Ньютона, летящее вбок так быстро, что вечно падает вокруг Земли. Ньютон объявляет, что дело математики — находить тягу по пути и путь по тяге, и именно этим занимается вся остальная книга.

Наконец, он начинает измерять такие тяги не одним способом. Один способ смотрит на источник: у большого сильного магнита больше тянущей силы, чем у маленького слабого. Другой смотрит на то, как быстро тяга разгоняет вещи там, где они находятся: магнит тянет сильнее вблизи, чем издали, а тяжесть чуть сильнее в долине, чем на очень высокой горе, и ещё слабее далеко в космосе. И всё же на одном и том же расстоянии от центра Земли тяжесть разгоняет всё одинаково — тяжёлое и лёгкое, большое и малое, — если убрать с дороги воздух. Тот же акселерометр, что поймал соскальзывание сумки, показывает одну и ту же тягу тяжести, лежит ли телефон один или под тяжёлой книгой.



Как измерить тягу

Запомним

Ньютон начинает с того, что считает материю — по плотности упаковки и занимаемому месту вместе — и называет это количество массой, которая всегда совпадает с весом. Движение учитывает материю и скорость вместе, поэтому тяжёлые быстрые вещи так трудно остановить. Инерция — это упрямство материи, а сила — лишь действие, которое его меняет, и длится она, пока действует. Тяга к центру превращает прямое движение в орбиту — так прача держит камень, Земля держит Луну, а спутники остаются в небе. Такую тягу можно измерять силой её источника или тем, как быстро она разгоняет вещи, и на одном расстоянии тяжесть разгоняет всё одинаково.

Вопросы

1. Две жёсткие бутылки одного размера вмещают разное количество воздуха. Что это показывает о ньютоновом количестве материи?
 - a. Оно зависит от упаковки и места вместе, а не от одного размера
 - b. Оно зависит только от размера сосуда
 - c. Оно зависит только от того, сколько весит сосуд
 - d. Для воздуха его нельзя измерить

2. Когда тормоза замедлили машину и педаль отпущена, почему машина сохраняет новую скорость?
 - a. Тормоза оставляют в машине запас силы
 - b. Её тянет с этой скоростью тяжесть
 - c. Она продолжает в новом состоянии по инерции
 - d. Её толкает вперёд дорога
3. Что, по образу Ньютона, удерживает Луну на орбите?
 - a. Одна её инерция, заставляющая её двигаться по кругу
 - b. Воздух, окружающий Землю
 - c. Тяга к Земле ровно нужной силы
 - d. Толчок от Солнца позади неё
4. Как на одном расстоянии от центра Земли, без воздуха, падают тяжёлое и лёгкое тело?
 - a. Тяжёлое разгоняется быстрее
 - b. Лёгкое разгоняется быстрее
 - c. Они разгоняются одинаково
 - d. Притягивается только тяжёлое

Ответы

1. **a)** Количество материи зависит от двух вещей вместе: насколько плотно она упакована и сколько места занимает, так что один размер ничего не говорит.
2. **c)** Сила длится лишь пока действует; когда толчок закончился, тело ничего от него не хранит и продолжает в новом состоянии по инерции.
3. **c)** Луну держит тяга ровно нужной силы: слишком слабая, и она уплыла бы, слишком сильная — упала бы.

4. с) На одном расстоянии от центра Земли тяжесть разгоняет всё одинаково — тяжёлое и лёгкое, большое и малое, — если убрать с дороги воздух.

Задачи

1. Друг говорит, что гружёный фургон труднее остановить, чем маленький автомобиль, только потому, что он больше. Как бы вы поправили его, опираясь на ньютоново количество движения?

Подсказка: Спросите себя, от чего, кроме скорости, зависит количество движения.

Ответ: Важен не размер, а количество движущейся материи вместе со скоростью. Гружёный фургон при той же скорости, что и маленький автомобиль, несёт гораздо больше материи, а значит, гораздо больше движения, — поэтому ему и нужно столько больше дороги, чтобы остановиться.

2. Почему ядро, выпущенное с горы достаточно быстро, может никогда не упасть, хотя тяжесть ни на миг не перестаёт его тянуть?

Подсказка: Подумайте, что происходит с его кривой, когда оно летит быстрее.

Ответ: Чем быстрее ядро, тем положе кривая его падения. При достаточной скорости изгиб падения совпадает с изгибом Земли, так что оно всё время падает вокруг планеты, никогда не достигая земли, — так и держатся спутники.

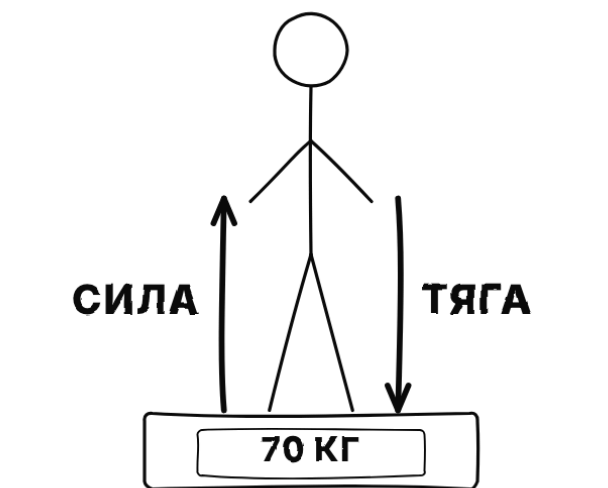
3. Ньютон измеряет тягу силой её источника и тем, как быстро она разгоняет вещи в данном месте. Почему это две разные меры?

Подсказка: Представьте один магнит рядом со скрепкой и вдали от неё.

Ответ: Один и тот же источник может сильно разгонять вещи вблизи и лишь слабо вдали, так что сила источника и то, как быстро он разгоняет вещи в определённом месте, — не одно и то же; у большого магнита больше тянущей силы, чем у маленького, но любой из них тянет сильнее вблизи.

Вес, время и где вещи на самом деле

Встаньте на весы в ванной и посмотрите, как устанавливается число. Весы не видят вашего тела; всё, что они делают, — толкают вверх ровно настолько, чтобы вы не проваливались, и сообщают, насколько силен этот толчок. Ньютон определяет вес именно так, и это последний из трёх его способов измерить тягу.

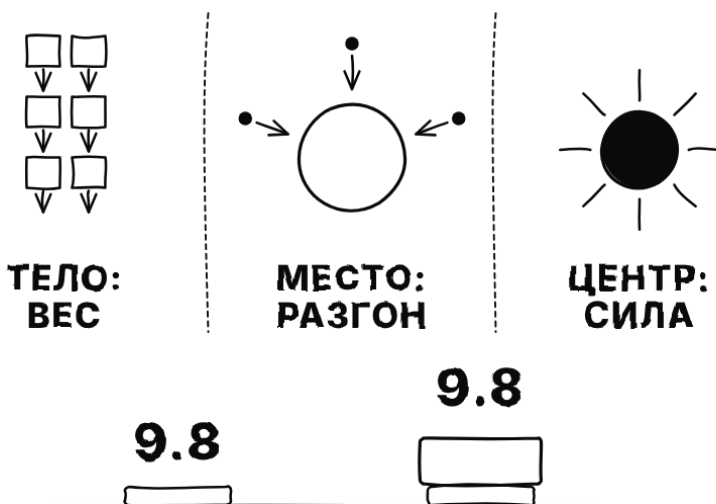


Весы толкают в ответ

Два мы уже встречали: сила источника — как большой магнит берёт верх над маленьким — и то, как быстро тяга разгоняет вещи в данной точке. Третий смотрит на всё тело и спрашивает,

сколько движения сообщает ему тяга, и Ньютон говорит, что это просто его вес, наклонность всего тела к центру. Большее тело весит больше, а одно и то же тело весит больше вблизи Земли и меньше вдали. И вес всегда узнаётся по равному толчку в обратную сторону, который как раз не даёт телу упасть, — это и есть работа весов. Ваши весы толкают вас вверх ровно так же сильно, как Земля тянет вниз, и это равновесие и есть число, которое они показывают.

Ньютон даёт каждой мере своё место. Вес принадлежит телу как сумма тяг на все его маленькие части. Разгон принадлежит месту — как способность, распространённая от центра до каждой точки вокруг. Сила принадлежит самому центру, тому, что вызывает тягу: магниту, Земле или чему-то, чего ещё никто не нашёл. Он осторожно оговаривает, что придаёт этим тягам лишь математический смысл; что они такое на самом деле и как действуют, он оставляет открытым.



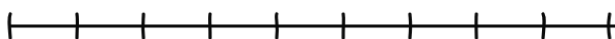
Три места для тяги

Все три аккуратно складываются вместе. Как движение тела есть его скорость, приложенная ко всей его материи, так и его вес есть местный разгон, приложенный ко всей его материи. Так что вблизи Земли, где разгон для всего одинаков, вес просто следует за количеством материи. Поднимитесь так высоко, чтобы разгон тяжести ослаб, — и вес каждого тела ослабнет вместе с ним, а материя останется точно такой же. Акселерометр вашего телефона показывает это постоянно каждый день: лёжа на столе, он показывает одну и ту же тягу тяжести, голый ли он или лежит под тяжёлой книгой.

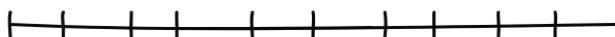
Здесь определения кончаются, и Ньютон добавляет длинное пояснительное примечание о четырёх словах, которые

отказывается определять, потому что все думают, что знают их: время, пространство, место и движение. Беда, говорит он, в том, что люди знают их только через вещи, которые видят и трогают, а это порождает ложные представления. Поэтому он делит каждое надвое: на истинное, абсолютное, и на относительное, которое мы действительно можем измерить.

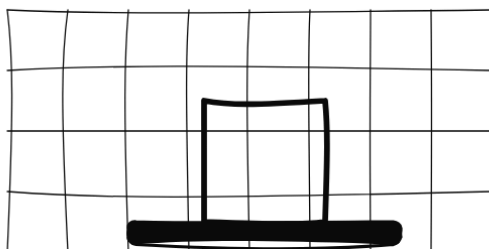
ИСТИН. ВРЕМЯ



ЧАСЫ



ВОЗДУХ



**ИСТИННОЕ
ПРОСТР.**

ЗЕМЛЯ

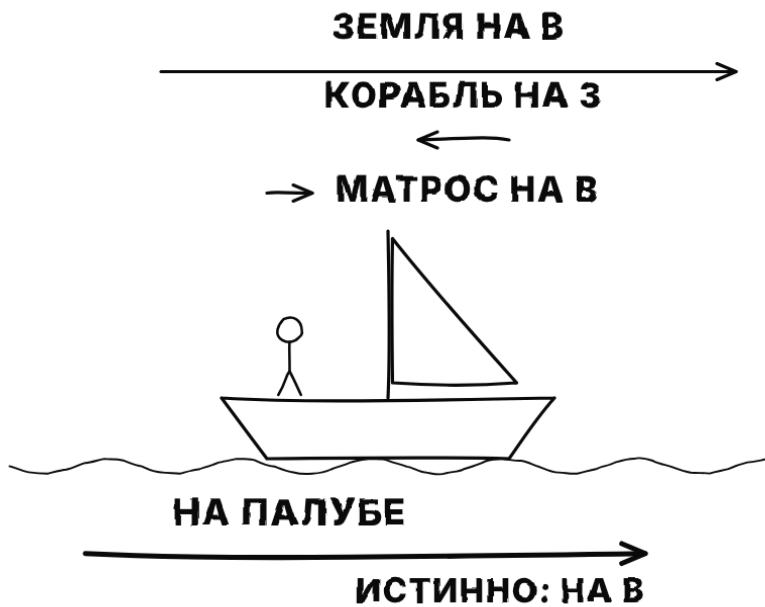
Истинные и измеряемые время и пространство

Истинное время течёт равномерно само по себе, что бы ни происходило в мире, и другое его имя — длительность. Время, которым мы пользуемся, — часы, дни, месяцы и годы — лишь мера этого течения, сделанная каким-то движением, за которым можно следить, — вращением Земли или качанием маятника, — и такие меры могут быть слегка неравномерными. Часы вашего

телефона — относительное время именно в этом смысле: они считают колебания крошечного кристалла и сверяются по часам спутников, но они лишь измеряют время, а не являются им.

Истинное пространство всюду одинаково и никогда не движется. Пространство, которое мы измеряем, — комната, воздух над городом, небо, каким оно видно отсюда, — задано своим положением среди тел, так что может двигаться вместе с ними. Если Земля движется, то клочок воздуха, всегда окружающий нас, в истинном пространстве проходит одно место за другим. Место тела — это часть пространства, которую оно заполняет, а не просто его внешняя поверхность или положение, и место целого есть сумма мест его частей.

Движение делится так же. Истинное движение — это переход тела из одного истинного места в другое; относительное движение — его переход из одного места в другое среди окружающих вещей. Образ Ньютона — корабль под парусами: пассажир, неподвижно сидящий в каюте, покоится относительно корабля, и всё же, если корабль движется, пассажир движется вместе с ним. А если движется и сама Земля, то истинное движение пассажира складывается из движения Земли, плавания корабля по Земле и любой его прогулки по палубе — всё вместе. В его примере Земля очень быстро несёт корабль на восток, корабль медленно плывёт на запад, а матрос неспешно идёт немного на восток, так что матрос, который в сравнении с берегом будто дрейфует на запад, на самом деле мчится сквозь пространство на восток. Ваш телефон показывает, с какой скоростью вы идёте вдоль движущегося поезда, лишь относительно земли; ваша скорость в истинном пространстве добавила бы ещё и огромное собственное движение Земли.



Корабль и матрос

Запомним

Вес — третья мера тяги: движение, которое она сообщает всему телу, узнаваемое по толчку, не дающему телу упасть, как это делают весы в ванной. Вес принадлежит телу, разгон — месту, а сила — центру, и Ньютон придаёт им лишь математический смысл. Вблизи Земли разгон для всего одинаков, так что вес следует за количеством материи. Истинное время течёт равномерно само по себе, а часы лишь измеряют его; истинное пространство никогда не движется, а измеряемые нами пространства путешествуют вместе с телами вокруг нас. Тело, покоящееся на плывущем корабле, всё равно движется сквозь истинное пространство, и его истинное движение складывается из движений Земли, корабля и самого тела.

Вопросы

1. Как весы в ванной узнают ваш вес в ньютоновом смысле?
 - a. Видят, сколько в вас материи
 - b. Толкают вверх ровно настолько, чтобы вы не падали, и этот толчок равен вашему весу
 - c. Измеряют, как быстро вы движетесь
 - d. Измеряют ваш рост
2. Чему Ньютон приписывает разгон, создаваемый тягой?
 - a. Телу, которое тянут

- b. Месту, где находится тело
 - c. Источнику в центре
 - d. Наблюдателю
3. Почему часы вашего телефона — лишь относительное время?
- a. Потому что показывают неверный час
 - b. Потому что измеряют время, считая движение, а это лишь мера истинного времени
 - c. Потому что истинное время останавливается, когда телефон выключен
 - d. Потому что их выставляют по спутникам
4. Пассажир неподвижно сидит в каюте плывущего корабля. Что верно о его движении?
- a. Он истинно покоится
 - b. Он покоится относительно корабля, но движется вместе с ним
 - c. Он движется, только если ходит
 - d. Он движется лишь относительно каюты

Ответы

1. **b)** Вес всегда узнаётся по равному толчку в обратную сторону, который как раз не даёт телу упасть, — это и делают весы.
2. **b)** Разгон принадлежит месту — как способность, распространённая от центра до каждой точки вокруг.
3. **b)** Время, которым мы пользуемся, — лишь мера истинного течения, сделанная каким-то движением; телефон считает колебания кристалла, так что он измеряет время, но не является им.

4. б) Неподвижно сидящий пассажир покоится относительно корабля, и всё же, если корабль движется, пассажир движется вместе с ним.

Задачи

1. Объясните, почему вблизи Земли вес тела следует за количеством его материи.

Подсказка: Спросите себя, что одинаково для всех тел в одном месте.

Ответ: Вес — это местный разгон, приложенный ко всей материи тела. Вблизи Земли разгон для всего одинаков, так что от тела к телу меняется только количество материи, и вес следует за ним.

2. Почему матрос, который в сравнении с берегом будто дрейфует на запад, на самом деле может мчаться сквозь пространство на восток?

Подсказка: Подумайте обо всём, что несёт матроса.

Ответ: Истинное движение матроса складывается из движения Земли, движения корабля по Земле и собственную ходьбу матроса. Если Земля очень быстро несёт всё на восток, это может перевесить медленный дрейф на запад, видимый с берега.

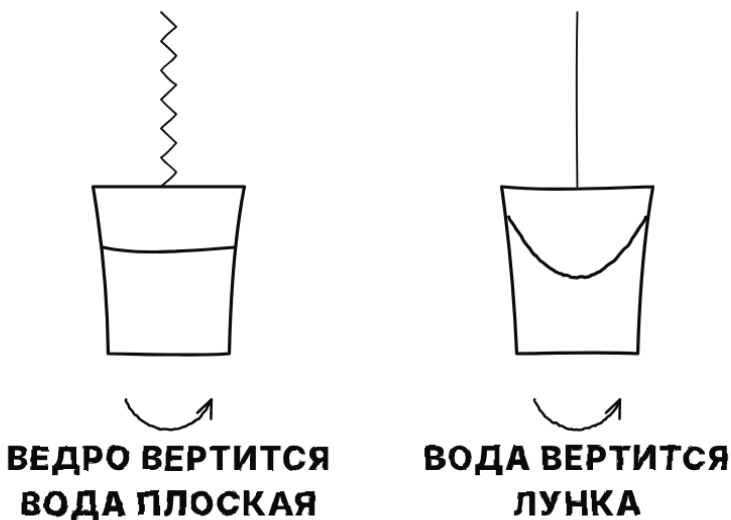
3. Почему Ньютон говорит, что клочок воздуха вокруг нас может меняться в истинном пространстве, хотя кажется, что он остаётся на месте?

Подсказка: Спросите себя, от чего отмеряется этот клочок воздуха.

Ответ: Этот клочок воздуха мы задаём его положением относительно Земли. Если Земля движется, воздух движется вместе с ней, так что в истинном пространстве он проходит одно место за другим, хотя относительно нас остаётся тем же.

Вращающееся ведро и неравные сутки

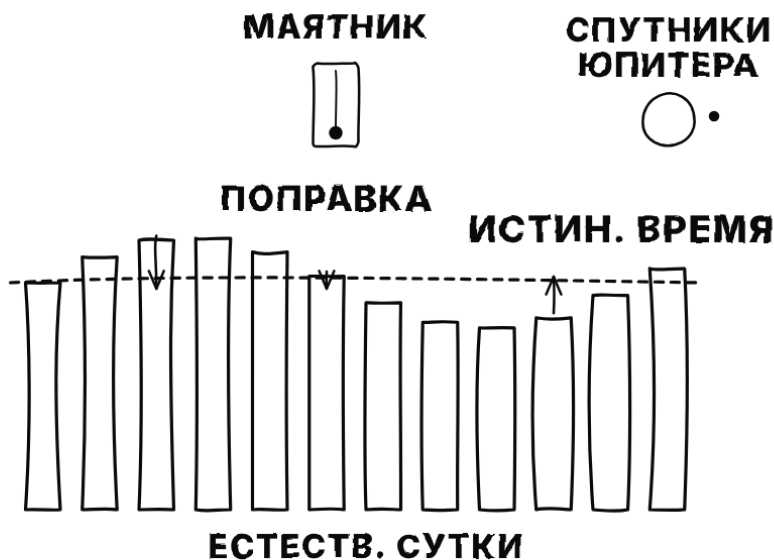
Подвесьте маленькое ведро с водой на длинной верёвке, закрутите верёвку много раз, удержите ведро неподвижным, а потом отпустите. Пока верёвка раскручивается, ведро вертится всё быстрее, но сначала вода внутри остаётся плоской и спокойной. Понемногу вода начинает вращаться вместе с ведром, её середина опускается, и она взбирается по стенкам, образуя лунку, пока ведро и вода не завертятся вместе. Ньютон проделал это сам, и это его лучшее доказательство того, что некоторое движение реально, а не зависит лишь от того, с чем его сравнивать.



Опыт с ведром

Прежде чем перейти к ведру, он разбирается со временем. Астрономы, говорит он, отделяют истинное время от повседневного поправкой, потому что естественные сутки, от полудня до полудня по солнцу, не все одной длины, хотя все считают их равными. Быть может, нигде нет совершенно равномерного движения, так что время никогда нельзя измерить точно; всякое движение может ускоряться или замедляться, но истинное время течёт неизменно. Вещи длятся одинаково долго, быстры ли движения вокруг них, медленны или их нет вовсе, так что длительность надо отличать от часов, которые её измеряют. Маятниковые часы и сроки спутников Юпитера одинаково показывают, что поправка нужна. Солнечные часы в вашем саду в течение года отклоняются примерно на четверть часа в ту или

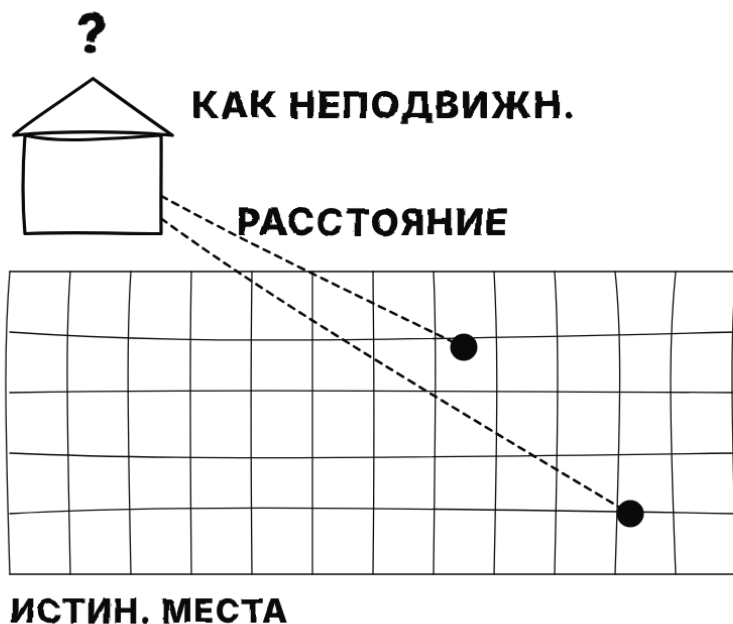
другую сторону от ровных часов вашего телефона — это то самое неравенство суток.



Естественные сутки неравны

Пространство подобно времени: его части вечно сохраняют свой порядок, и сдвинуть часть пространства с её места значило бы сдвинуть её с самой себя. Эти неподвижные части и есть истинные места, а уход из них — единственное истинное движение. Но части пространства мы не видим, поэтому мерим от какого-нибудь тела, которое считаем неподвижным, — земли, берега, вокзала. Для повседневной жизни это совершенно годится, но в натуральной философии нужно смотреть сквозь наши чувства, потому что нигде может не оказаться тела, истинно покоящегося, от которого можно было бы мерить. Карта

в вашем телефоне отмеряет каждое положение от земли, принятой за неподвижную, — это совершенно правильно, чтобы найти кафе, и ничего не говорит о том, как движется сама Земля.

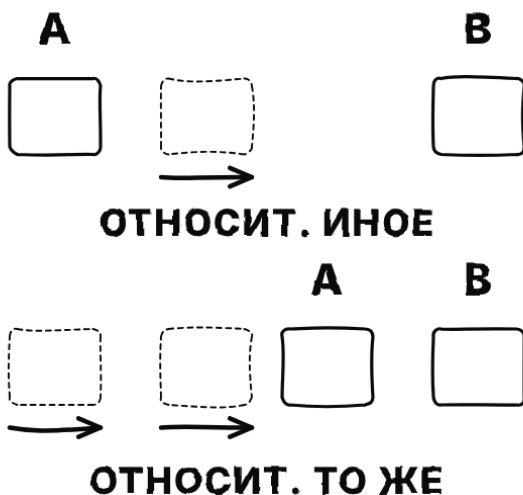


Места, отмеряемые от тела

Затем Ньютон обещает отличать истинное движение от кажущегося тремя способами: по их свойствам, причинам и действиям. Одно свойство: истинно покоящиеся вещи остаются на месте друг относительно друга; но истинно покоящееся тело может находиться далеко среди звёзд, и ничто в том, как близкие вещи расположены друг относительно друга, не скажет, остаются ли они неподвижными по отношению к нему. Другое свойство: части разделяют движение своего целого — если движется скорлупа, ядро движется вместе с ней, ни на миг не покидая

скорлупу. Так что покой среди движущихся вещей — не истинный покой, и истинное движение складывается слой за слоем из движения тела на его месте, движения этого места и так далее — вплоть до места, которое не движется. Телефон, неподвижно лежащий в вашем кармане в едущем автобусе, никогда не сдвигается в кармане, но пересекает город вместе с автобусом.

Причина, отделяющая истинное движение от относительного, — сила. Истинное движение меняется, лишь когда сила действует на само тело. Относительное движение может измениться вовсе без силы на тело — просто потому, что вещи, с которыми его сравнивают, оттолкнули; и может остаться прежним, когда тело толкают, если вещи вокруг толкают так же. Когда автобус тормозит, вы и телефон в вашем кармане замедляетесь вместе, так что телефон будто не движется относительно вас, хотя его истинное движение явно изменилось. Значит, истинное движение не может состоять в соотношениях с другими вещами.



Толкните другое тело

А действие, которое выдаёт истинное движение, — это стремление наружу при вращении. Чисто относительное кружение не производит стремления наружу; истинное вращение производит, и тем больше, чем быстрее вращение. Вот тут и появляется ведро. Сначала вода вращается быстрее всего относительно ведра, ведь ведро вертится вокруг неподвижной воды, но её поверхность остаётся плоской: нет стремления — значит, истинного вращения ещё нет. Позже, когда вода догоняет ведро и вращается относительно него всё меньше, она всё выше поднимается по стенкам и стоит выше всего ровно тогда, когда покоится относительно ведра. Стремление следует за истинным вращением воды, а не за её движением относительно окружающего ведра.

**ОТНОСИТ.:
МАКС.**



НАПОР: НЕТ

**ОТНОСИТ.:
НЕТ**



НАПОР: МАКС.

Стремление следует за истинным вращением

Опыт

Энергично размешайте чашку чая и выньте ложку. Пока чай вращается, его поверхность прогибается в середине и поднимается у края. Эта лунка — стремление наружу истинного вращения, то же, что Ньютон видел в своём ведре.

У каждого вращающегося тела лишь одно истинное вращение с одним соответствующим ему стремлением наружу, но бесчисленное множество относительных движений — по одному на каждое тело, с которым его сравнивают, — и у тех нет никаких

действительных действий. Это решает судьбу старого представления о небесах, в котором планеты покоятся внутри вращающихся хрустальных сфер, уносящих их по кругу: такие планеты истинно двигались бы, потому что меняют положение друг относительно друга, чего истинно покоящиеся вещи никогда не делают, и как части вращающегося целого они стремились бы наружу от его оси. Режим отжима в стиральной машине каждую неделю показывает то же стремление: истинное вращение барабана прижимает бельё к его стенке.

Запомним

Естественные сутки неравны, поэтому астрономы их исправляют, а истинное время течёт неизменно, что бы ни делали часы. Места мы отмеряем от тел, которые считаем неподвижными, но близкие положения никогда не выдадут истинного покоя, и части всегда разделяют движение своего целого. Лишь сила, приложенная к телу, меняет его истинное движение, а относительное движение может измениться или остаться прежним независимо от этого, так что истинное движение — не соотношение с другими вещами. Истинное вращение выдаёт себя стремлением наружу — вот почему вода в ведре Ньютона поднимается по стенкам лишь тогда, когда истинно вращается. У каждого вращающегося тела одно истинное движение и бесчисленное множество относительных, и лишь истинное имеет действительные действия.

Вопросы

1. Почему астрономы исправляют повседневное время?
 - a. Потому что часы всегда отстают
 - b. Потому что естественные солнечные сутки не все одной длины
 - c. Потому что летом истинное время ускоряется
 - d. Потому что Луна меняет длину года
2. Что одно меняет истинное движение тела?
 - a. Изменение окружающих его вещей
 - b. Сила, действующая на само тело
 - c. Течение времени
 - d. Его место среди других тел
3. Когда в ведре Ньютона вода поднимается по стенкам выше всего?
 - a. Когда ведро только начинает вертеться вокруг неподвижной воды
 - b. Когда вода вращается вместе с ведром и покоится относительно него
 - c. Когда ведро останавливается
 - d. Никогда: поверхность остаётся плоской

Ответы

1. b) Астрономы отделяют истинное время от повседневного поправкой, потому что естественные сутки, от полудня до полудня по

солнцу, не все одной длины.

2. б) Истинное движение меняется лишь тогда, когда сила действует на само тело, а относительное может измениться вовсе без силы на тело.

3. б) Когда вода догоняет ведро и вращается относительно него всё меньше, она поднимается выше и стоит выше всего ровно тогда, когда покоится относительно ведра.

Задачи

1. Объясните, почему опыт с ведром показывает, что истинное вращение — не то же самое, что вращение относительно ведра.

Подсказка: Сравните мгновения, когда вода больше всего движется относительно ведра и когда она поднимается выше всего.

Ответ: Сначала вода быстрее всего движется относительно ведра, но остаётся плоской, значит, истинно не вращается. В конце она вовсе не движется относительно ведра, но поднимается выше всего.

Стремление наружу следует за истинным вращением воды, а не за её движением относительно ведра.

2. Почему спокойный покой среди других вещей никогда не может доказать, что тело истинно покоится?

Подсказка: Вспомните телефон в кармане в автобусе.

Ответ: Части разделяют движение целого, которому принадлежат, как ядро движется со своей скорлупой. Телефон, лежащий в вашем кармане, никогда не движется относительно кармана, но автобус везёт его через город, так что покой среди вещей ничего не говорит об истинном покое.

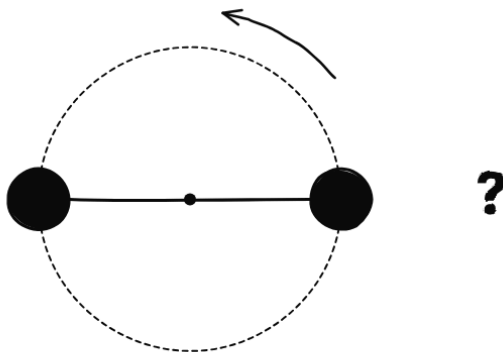
3. В чём, по Ньютону, ошибалась старая картина планет, уносимых вращающимися небесными сферами?

Подсказка: Спросите себя, проявляли бы такие планеты признаки истинного движения.

Ответ: Такие планеты покоились бы лишь относительно своих сфер. Они всё равно меняли бы положение друг относительно друга, чего истинно покоящиеся вещи никогда не делают, и как части вращающегося целого стремились бы наружу от его оси, так что на самом деле они двигались бы.

Как найти истинное движение

Представьте два тяжёлых шара, связанных прочной верёвкой, вращающихся вокруг своей середины в пустом небе, где больше ничего не видно. Последнее слово Ньютона в этой главе — что даже там мы могли бы сказать, что они вращаются.



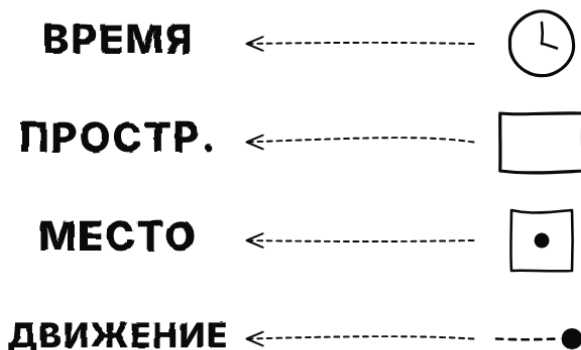
ПУСТОТА

Два шара в пустом пространстве

Сначала он разбирается со словами. Наши часы, измеренные места и скорости относительно земли — не те истинные вещи, в честь которых названы, а лишь меры, которыми мы пользуемся вместо них. В повседневной речи время и движение означают эти

меры, и это нормально, пока мы никогда не принимаем меры за действительные величины.

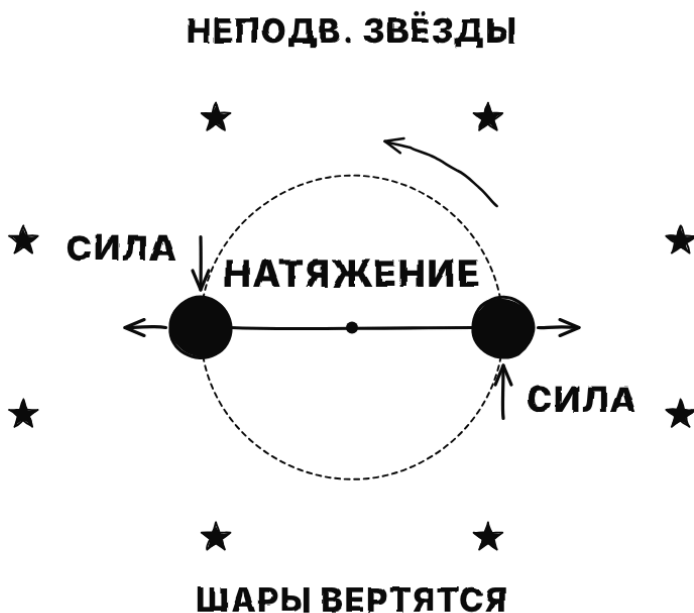
ВЕЛИЧИНЫ $\neq$ МЕРЫ



Величины и их меры

Найти истинное движение тела трудно, признаёт он, потому что неподвижное пространство нельзя увидеть. Но есть подсказки: наблюдаемые движения, которые суть разности истинных движений, и силы, которые их вызывают и выдают. Верёвку между двумя шарами туго натягивает их стремление наружу, так что её натяжение говорит, как быстро они вращаются. Толкните оба шара разом с одинаковых сторон: если верёвка натянется сильнее, толчок их ускорил, и это выдаёт, в какую сторону они вращаются. Гироскоп вашего телефона чувствует собственное

вращение в точно таком же духе — по силам внутри микросхемы, без всякой нужды смотреть на что-либо снаружи.



Натяжение, толчки и звёзды

Расставьте вокруг какие-нибудь далёкие тела, неподвижные друг относительно друга, как звёзды, — и одно наблюдение не скажет, вращаются шары или звёзды. Но если натяжение верёвки совпадает с тем, что требует вращение шаров, то движутся шары, а звёзды стоят на месте. Узнавать истинные движения по их причинам и действиям, а причины — по движениям — вот что берётся делать вся остальная книга Ньютона, и с этого начинаются законы движения.

Запомним

Наши повседневные времена и места — лишь меры истинных величин, и их нельзя принимать за них. Истинное движение нельзя увидеть прямо, но наблюдаемые движения и силы его выдают. Два шара на верёвке выдают своё вращение натяжением верёвки, даже когда вокруг ничего нет. Находить истинные движения по причинам и действиям — задача всей книги.

Вопросы

1. Что выдаёт, как быстро вращаются два шара на верёвке?
 - a. Насколько туго натянута верёвка
 - b. Цвет шаров
 - c. Звёзды вокруг них
 - d. Время суток
2. Когда, при далёких телах вокруг, можно сказать, что движутся шары, а тела стоят на месте?
 - a. Когда шары кажутся больше
 - b. Когда натяжение верёвки совпадает с тем, что требует вращение шаров
 - c. Всякий раз, когда шары проходят мимо звезды
 - d. Никогда

3. Что Ньютон говорит о наших повседневных часах и измеренных местах?
- a. Это истинные величины
 - b. Это лишь меры, ими можно пользоваться, если не принимать их за действительные величины
 - c. Ими никогда не следует пользоваться
 - d. Это силы

Ответы

1. a) Верёвку между двумя шарами туго натягивает их стремление наружу, так что её натяжение говорит, как быстро они вращаются.
2. b) Если натяжение верёвки совпадает с тем, что требует вращение шаров, то движутся шары, а звёзды стоят на месте.
3. b) Наши часы и измеренные места — не истинные вещи, а лишь меры; пользоваться ими нормально, пока мы никогда не принимаем их за действительные величины.

Задачи

1. Своими словами: как толчок по обоим шарам мог бы выдать, в какую сторону они вращаются?

Подсказка: Спросите себя, что более тугая верёвка говорит о толчке.

Ответ: Если толчок по одинаковым сторонам натягивает верёвку сильнее, он ускорил шары, значит, эти стороны при вращении шли позади; это и говорит, в какую сторону вращаются шары.

2. Почему истинное движение нельзя увидеть прямо и что выдаёт его вместо этого?

Подсказка: Подумайте о неподвижном пространстве и о силах.

Ответ: Неподвижное пространство невидимо, так что мы не можем наблюдать, как тело проходит сквозь него. Но силы вызывают истинное движение и показывают его, как натяжение верёвки показывает, что два шара вращаются.