

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

Материя, движение и тяга к центру

Одна тяга, три меры и само время

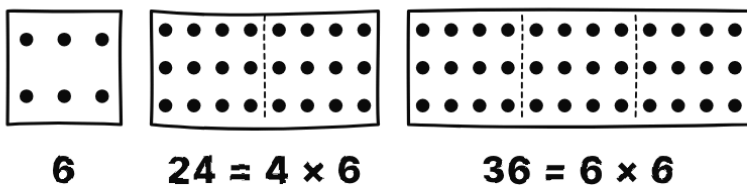
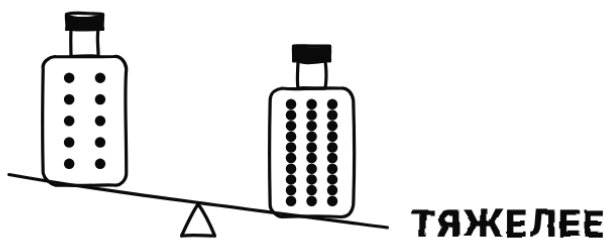
Места, матрос и почему покой нельзя увидеть

Ядро, скорлупа и вращающееся ведро

Два шара в пустом небе

Материя, движение и тяга к центру

Возьмите две одинаковые пластиковые бутылки. В одной оставьте воздух обычного давления и закрутите крышку; другую накачайте воздухом с помощью велосипедного насоса, пока она не станет твёрдой. Они занимают одинаковое место, но твёрдая вмещает больше воздуха, и чувствительные кухонные весы даже покажут её чуть тяжелее. Значит, размер вещи не говорит, сколько в ней вещества. Это самый первый вопрос, на который Ньютон отвечает в своей великой книге, ещё до того, как сформулирован хоть один закон движения.

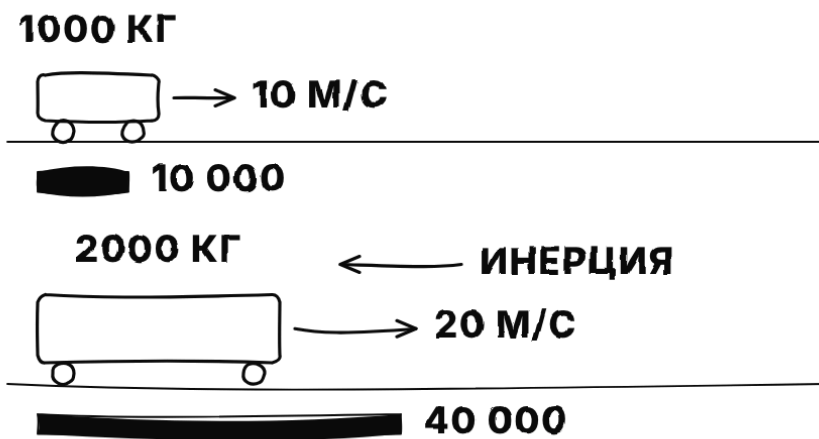


Его ответ: количество материи измеряется тем, насколько плотно она упакована и сколько места занимает, — двумя этими величинами, перемноженными друг на друга. Упаковка и место перемножаются, потому что каждая считается сама по себе: представьте толпу, где вдвое больше людей на каждом квадратном метре на вдвое большем числе квадратных метров дают вчетверо большую толпу. Собственный пример Ньютона — воздух: вдвое более плотный воздух, заполняющий вдвое больше места, — это вчетверо больше воздуха, а тот же плотный воздух в тройном объёме — вшестеро больше. Снег, спрессованный в лёд, или порошок, сжатый в лепёшку, меняет размер и упаковку, но не количество материи. Это количество он и называет с тех пор телом или массой.

Ньютон намеренно оставляет в стороне всякую тонкую среду, которая могла бы течь между частями тел; он считает только материю самого тела. Затем он делает утверждение, далеко не очевидное: масса тела пропорциональна его весу. Он нашёл это очень тщательными опытами с маятниками, которые обещает описать позже: маятники одной длины качаются за одно и то же время, из чего бы ни были сделаны их грузы, а это возможно, только если вес растёт точно в ногу с массой. Вот почему весы в вашей ванной, которые на самом деле чувствуют тягу, могут честно показывать вашу массу в килограммах.

Второе определение строится на первом: количество движения — это масса и скорость, перемноженные друг на друга; сегодня его называют импульсом. Причина в том, что движение целого тела — это просто сложенные движения его частей, так что вдвое больше материи при той же скорости — вдвое больше движения. Числа Ньютона: у тела с вдвое большим количеством материи

при той же скорости вдвое больше движения, а если оно к тому же движется вдвое быстрее — вчетверо больше. Небольшой автомобиль массой в тысячу килограммов при десяти метрах в секунду несёт десять тысяч единиц движения; фургон в две тысячи килограммов при двадцати метрах в секунду несёт сорок тысяч, вчетверо больше, и ему нужно гораздо больше дороги, чтобы остановиться.



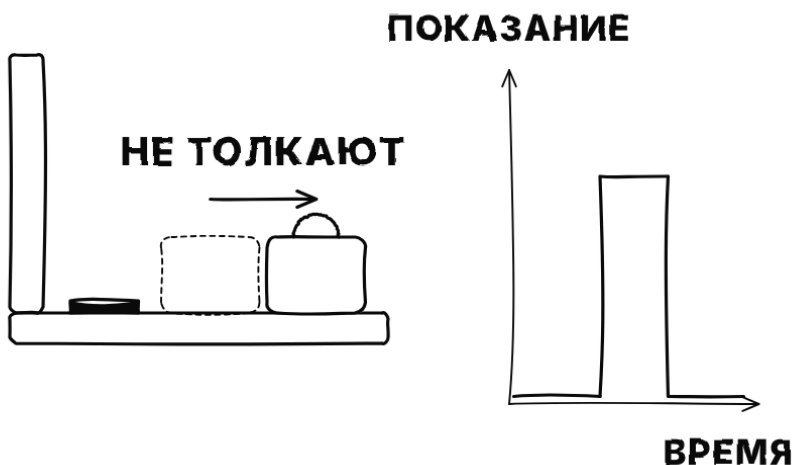
Масса на скорость

Третье определение называет то, что каждый чувствует: силу, врождённую самой материи, которую Ньютон по-латыни называет *vis insita*. Это способность сопротивления, по которой всякое тело, насколько может, продолжает делать то, что делает: остаётся в покое или движется прямо вперёд с постоянной

скоростью. Эта способность пропорциональна количеству материи и есть не что иное, как вялость материи, увиденная с другой стороны; лучшее название у Ньютона — сила бездействия, *vis inertiae*, от которой и происходит слово «инерция». Тело проявляет её только тогда, когда что-то пытается изменить его состояние: со стороны тела, которое толкают, это выглядит как сопротивление; со стороны движущегося тела, напирającego на другое, — как напор. И Ньютон добавляет предупреждение, которое пригодится позже: покой и движение, как их обычно мыслят, различаются лишь относительно других вещей, и тела, которые кажутся покоящимися, не всегда покоятся истинно.

Опыт

Положите телефон плашмя на пассажирское сиденье автомобиля и откройте любое бесплатное приложение с датчиками, показывающее акселерометр. Пока машина ровно катится по прямой дороге, показание вдоль направления движения остаётся около нуля. Когда водитель тормозит, показание подскакивает, а незакреплённая сумка на сиденье съезжает вперёд. Ничто не толкало сумку вперёд: она просто продолжала двигаться, пока машину заставляли остановиться, и это и есть инерция.

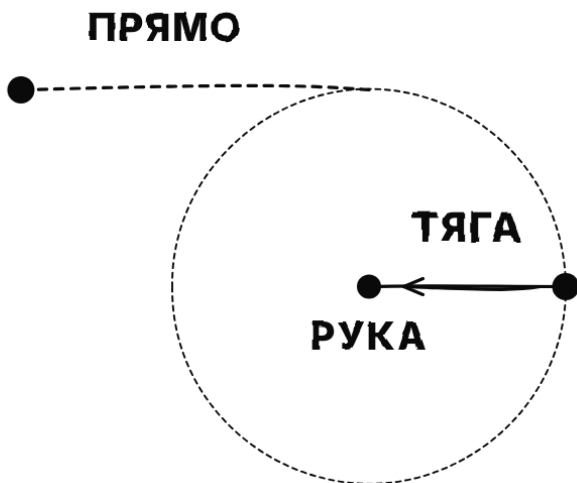


Сумка едет дальше

Четвёртое определение: приложенная сила есть действие на тело, меняющее его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Она существует лишь пока длится действие; ничего от неё в теле потом не остаётся, потому что новое состояние тело сохраняет одной инерцией. Такие силы бывают от удара, от давления и от центростремительной силы. Тормоза прижимаются лишь пока нажата педаль; когда машина замедлилась до новой скорости, она сохраняет эту скорость, хотя ничто уже не давит.

Пятое определение вводит силу, о которой вся книга: центростремительную силу, ту, что притягивает тело к некоторой точке как к центру. Тяжесть — одна из них, она тянет тела к

середине Земли; магнетизм — другая, он тянет железо к магниту; такова и сила, какова бы она ни была, что загибает планеты с прямых линий на кривые орбиты. Образ Ньютона — камень, вращаемый в праще: он рвётся улететь и натягивает пращу тем сильнее, чем быстрее движется, а в момент, когда его отпускают, улетает по прямой. Тяга пращи, всегда направленная назад к руке в центре, и есть центростремительная сила, сила, стремящаяся к центру, и она нужна всякому телу, движущемуся по любой орбите, иначе оно ушло бы по прямой.



Тяга к центру

Затем идёт самый знаменитый образ: пушка на вершине горы, стреляющая свинцовым ядром параллельно земле. Без тяжести и без воздуха ядро летело бы прямо вечно; тяжесть загибает его

путь вниз, тем меньше, чем быстрее оно выпущено. Ньютон даёт числа: если ядро падает в двух милях, то без воздуха двойная скорость унесёт его на четыре мили, а десятикратная — на двадцать. Причина в том, что ядро падает с одной и той же высоты за одно и то же время при любой скорости, так что расстояние, которое оно пролетает до падения, растёт точно вместе со скоростью. Продолжайте его ускорять, и путь становится всё более пологим, пока ядро не упадёт на четверти пути вокруг Земли, или не облетит её целиком, прежде чем упасть, или не опустится вовсе и не уйдёт дальше в небо. Последний случай реален: каждый спутник GPS, которого слушает ваш телефон, — это ядро Ньютона, летящее вбок так быстро, что всё время падает вокруг Земли и никогда её не достигает.

Луна удерживается точно так же. Будь тяга к Земле слишком слаба, Луна уплыла бы по прямой; будь слишком сильна — Луну стянуло бы с орбиты вниз. Тяга должна быть ровно такой, какая нужна для скорости Луны, и Ньютон называет две задачи, которые решит его книга: по данной орбите и скорости найти силу, а по данной силе, месту и скорости найти кривой путь. Инженеры, выводящие спутник на орбиту, перед каждым запуском решают именно эти две задачи.

Запомним

Количество материи — это упаковка на место, так что вдвое более плотный воздух в двойном объёме — вчетверо больше, и это количество, которое Ньютон называет массой, пропорционально весу. Количество движения — это масса на скорость, так что двойная масса при двойной скорости — вчетверо больше движения. Инерция — это стремление тела продолжать делать то, что оно делает, а приложенная сила существует лишь пока действует. Центростремительная сила тянет к центру и превращает прямое движение в орбиту, как праща держит камень, а тяжесть — Луну и каждый спутник. Находить силу по орбите и орбиту по силе — задача, которую Ньютон ставит перед всей остальной книгой.

Вопросы

1. Воздух сделали втрое плотнее, и он заполняет вдвое больше места. Во сколько раз больше стало воздуха?
 - a. В пять раз
 - b. В шесть раз
 - c. В три раза
 - d. В два раза
2. О чём говорит Ньютону то, что маятники одной длины качаются за одно время, из чего бы ни были сделаны их грузы?

- a. Что вес растёт точно в ногу с массой
 - b. Что у всех веществ одна и та же плотность
 - c. Что на маятники не действует тяжесть
 - d. Что тяжёлые тела падают быстрее
3. Когда тормоза замедлили машину и педаль отпущена, что удерживает машину на новой скорости?
- a. Часть тормозной силы, запасённая в машине
 - b. Двигатель, сменивший тормоза
 - c. Тяга к центру Земли
 - d. Одна только её инерция
4. Почему ядро, выпущенное без воздуха вдвое быстрее, падает вдвое дальше?
- a. Тяжесть слабее тянет более быстрое ядро
 - b. У более быстрого ядра больше инерции, и оно падает медленнее
 - c. Оно падает с той же высоты за то же время и за это время пролетает вдвое больше
 - d. Более быстрое ядро сначала поднимается, а потом падает

Ответы

1. **b)** Упаковка и место перемножаются, каждая считается сама по себе, так что тройная упаковка на двойном месте — вшестеро больше материи.
2. **a)** Маятники одной длины качаются за одно и то же время, из чего бы ни были сделаны их грузы, а это возможно, только если вес растёт точно в ногу с массой.

3. d) Приложенная сила существует лишь пока действует; ничего от неё в теле не остаётся, и новое состояние тело сохраняет одной инерцией.

4. c) Ядро падает с одной и той же высоты за одно и то же время при любой скорости, так что расстояние, которое оно пролетает до падения, растёт точно вместе со скоростью.

Разобранные примеры

Вдвое более плотный воздух Вдвое более плотный воздух заполняет вдвое больше места. Во втором случае тот же плотный воздух заполняет втрое больше места. Во сколько раз больше исходного количества материи каждый раз?

Количество материи — это насколько плотно она упакована, умноженное на то, сколько места она занимает.

Двойная упаковка на двойном месте: дважды два — четверо больше.

Двойная упаковка на тройном месте: дважды три — шестеро больше.

Ответ: четверо и шестеро

Дальность ядра Свинцовое ядро, выпущенное с вершины горы параллельно земле, падает в двух милях. Как далеко оно улетит без воздуха при двойной и десятикратной скорости?

Без воздуха ядро падает с одной и той же высоты за одно и то же время при любой скорости.

Значит, расстояние, которое оно пролетает до падения, растёт точно вместе со скоростью.

Двойная скорость даёт дважды две мили — четыре мили; десятикратная — десять раз по две мили, двадцать миль.

Ответ: четыре мили и двадцать миль

Задачи

1. У одного тела вдвое больше материи, чем у другого, и оно движется вдвое быстрее. Во сколько раз больше количество движения оно несёт?

Подсказка: Количество движения — масса на скорость: перемножьте два множителя.

Ответ: Вчетверо: вдвое больше материи удваивает движение, а двойная скорость удваивает его ещё раз.

2. Автомобиль массой в тысячу килограммов движется со скоростью десять метров в секунду; фургон в две тысячи килограммов — двадцать метров в секунду. Во сколько раз больше количества движения несёт фургон?

Подсказка: Вычислите массу на скорость для каждого.

Ответ: Вчетверо: автомобиль несёт десять тысяч единиц, фургон — сорок тысяч.

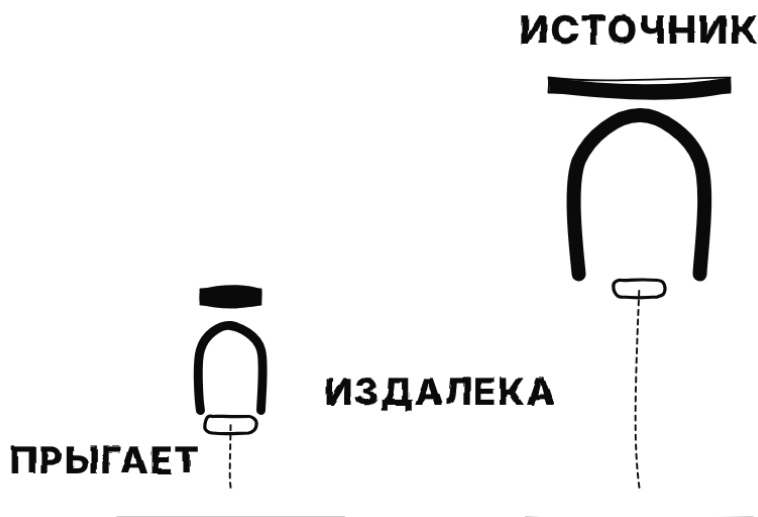
3. Без воздуха ядро, падающее в двух милях, выпускают втрое быстрее. Как далеко оно улетит?

Подсказка: Его падение всё так же занимает то же время, так что расстояние растёт вместе со скоростью.

Ответ: На шесть миль: тройная скорость уносит его втрое дальше двух миль.

Одна тяга, три меры и само время

Держите маленький магнит для холодильника над скрепкой и медленно опускайте его, пока скрепка не подскочит и не прилипнет. Теперь сделайте то же с большим сильным магнитом: скрепка подпрыгнет с гораздо большего расстояния. И с любым магнитом: чем он ближе, тем резче прыгает скрепка. Значит, на вопрос, насколько сильна тяга, есть больше одного честного ответа, и Ньютон держит три из них порознь.

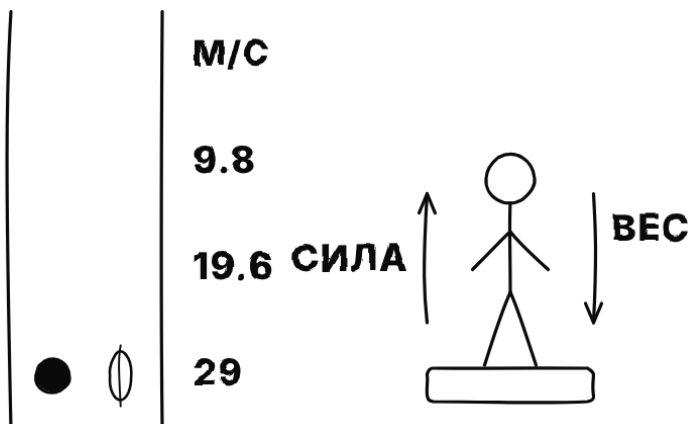


Маленький магнит, большой магнит

Первая мера смотрит на источник. Ньютон называет её абсолютной величиной центростремительной силы: насколько мощна причина, посылающая тягу из центра в окружающее пространство. У большого сильного магнита её просто больше, чем у маленького слабого, что бы рядом ни положили. Собственный магнетизм Земли, поворачивающий компас вашего телефона, — огромный источник, хотя распределён так широко, что стрелка его едва чувствует.

Вторая мера смотрит на место. Ускорительная величина — это сколько скорости тяга добавляет телу в этом месте за данное время, то, что мы теперь называем ускорением. Тот же магнит разгоняет вещи сильнее вблизи, чем вдали; тяжесть чуть сильнее в долине, чем на очень высокой горе, и ещё слабее далеко от Земли. И всё же на одном расстоянии от Земли она одинаково разгоняет всякое падающее тело, тяжёлое или лёгкое, большое или малое, если учесть воздух. Расчёт словами: камень, брошенный у земли, каждую секунду набирает около девяти и восьми десятых метра в секунду скорости, так что через три секунды он падает со скоростью около двадцати девяти метров в секунду, а перо в трубке, из которой откачан воздух, держится с ним точно вровень. Акселерометр вашего телефона, неподвижно лежащего на столе, показывает те же девять и восемь десятых, голый ли телефон или в тяжёлом чехле.

ВАКУУМ

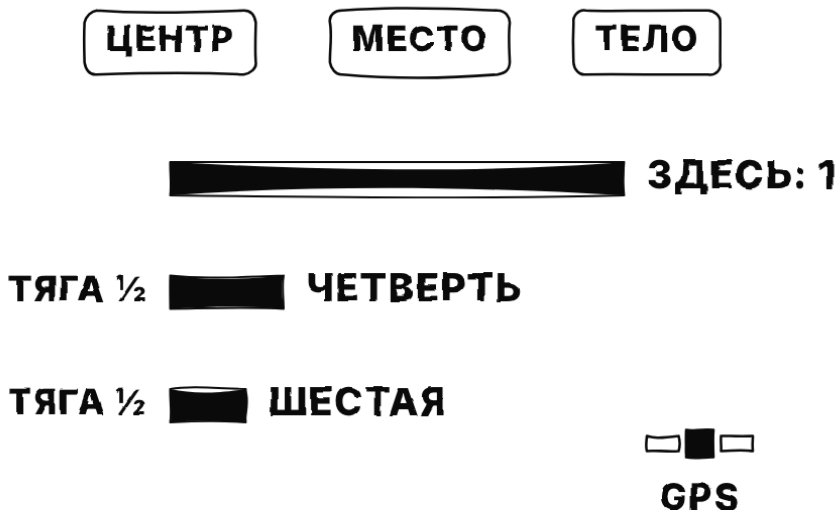


Скорость за каждую секунду

Третья мера смотрит на всё тело. Движущая величина — это количество движения, которое тяга производит в теле за данное время, и Ньютон прямо говорит, что это вес тела, всё его стремление к центру. Он всегда измеряется равным и противоположным толчком, как раз достаточным, чтобы тело не падало. Ровно это делают весы в вашей ванной: толкают вверх ровно настолько, чтобы вы не проваливались, и показывают, насколько сильно. У большего тела больше вес, а одно и то же тело весит больше вблизи Земли и меньше вдали.

Ньютон даёт каждой мере своё место. Вес принадлежит телу как сумма тяг на все его части; ускорение принадлежит месту как способность, распространённая от центра до каждой точки

вокруг; а абсолютная сила принадлежит центру как та причина, что производит тягу, — магнит, Земля или что-то пока неизвестное. Он настаивает, что даёт лишь математическое представление об этих силах, а не говорит, что их физически вызывает.



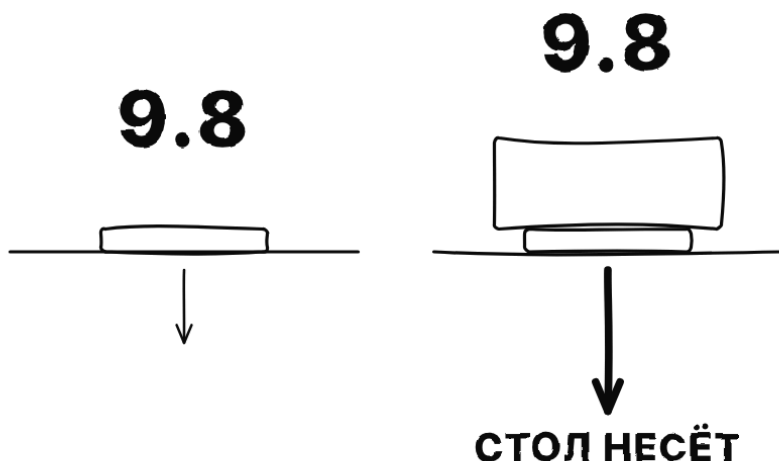
Половина тяги, меньшие тела

Затем он связывает вес и ускорение так же, как движение связано со скоростью. Движение — это скорость, умноженная на количество материи; так же и вес — это ускорение, умноженное на количество материи, потому что тяга на всё тело — это тяга на каждую маленькую часть, сложенная вместе. Так что вблизи Земли, где ускорение для всего одинаково, вес просто пропорционален количеству материи. Его собственный расчёт

поднимается высоко: в области, где ускорение тяжести лишь половинное, тело вдвое меньше весит четверть того, что весит здесь большое тело, — вчетверо меньше, а тело втрое меньше весит шестую часть — вшестеро меньше. На высоте спутников GPS, далеко над воздухом, ускорение тяжести составляет лишь малую долю того, что у земли, так что спутник там весит гораздо меньше, чем на стартовом столе, хотя количество его материи ничуть не изменилось.

Опыт

Положите телефон плашмя на стол и откройте бесплатное приложение с датчиками, показывающее акселерометр. Заметьте показание, направленное вверх от стола, — около девяти и восьми десятых. Положите на телефон тяжёлую книгу и посмотрите снова: показание не меняется. Ускорение принадлежит месту, а не тому, что там лежит; книга изменила то, что несёт стол, а не разгон, который тяжесть даёт в этой точке.



Книга его не меняет

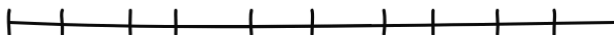
Ньютон добавляет предупреждение о своих словах: «притяжение», «толчок» и «стремление к центру» он употребляет как равнозначные и никогда не берётся сказать, что эти силы такое на самом деле, или что центр — всего лишь математическая точка — действительно тянет. Затем определения кончаются и начинается длинное пояснительное примечание — поучение. Время, пространство, место и движение, говорит он, не нуждаются в определениях, раз их все знают; но люди мыслят их лишь через вещи, которые видят, и это порождает предрассудки. Чтобы их устранить, он делит каждое на абсолютное и относительное, истинное и кажущееся, математическое и обыденное.

Сначала время. Истинное, абсолютное время течёт равномерно само по себе, безотносительно к чему-либо внешнему, и другое его имя — длительность. Относительное, обыденное время — это любая видимая мера этой длительности, сделанная каким-то движением, точная или нет, — как час, день, месяц или год. Часы вашего телефона — это относительное время именно в этом смысле: мера, полученная подсчётом колебаний крошечного кристалла и сверенная с часами спутников, а вовсе не само течение времени.

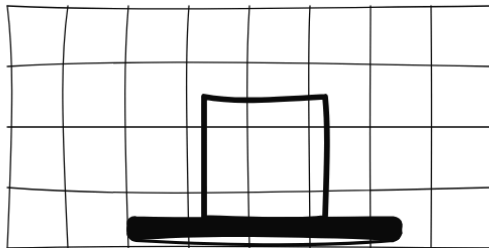
ИСТИН. ВРЕМЯ



ЧАСЫ



ВОЗДУХ



**ИСТИННОЕ
ПРОСТР.**

ЗЕМЛЯ

Истинные и обыденные время и пространство

Затем пространство. Абсолютное пространство по своей природе, безотносительно к чему-либо внешнему, всегда остаётся одинаковым и никогда не движется. Относительное

пространство — это любая его подвижная мера, которую наши чувства устанавливают по положению среди тел, как пространство пещеры, воздуха или небес, отмеряемое от Земли. У них одинаковые форма и размер, но они не обязаны оставаться одним и тем же куском пространства: если Земля движется, то воздух, неподвижный вокруг нас, абсолютно говоря, проходит одну часть пространства за другой, вечно меняясь.

Запомним

У тяги к центру три меры: мощность её источника, то, как быстро она разгоняет вещи в данном месте, и вес, который она даёт всему телу. Вес — это ускорение на количество материи, как движение — скорость на количество материи, так что там, где ускорение тяжести вдвое меньше, тело в половину или в треть величины весит четверть или шестую часть. На одной высоте тяжесть одинаково разгоняет всё, что и показывает акселерометр телефона — с книгой сверху или без неё. Истинное время течёт равномерно само по себе, а часы, дни и часы наших телефонов — лишь движения, которыми его измеряют. Истинное пространство никогда не движется, а пространство, которое мы отмеряем от Земли, само может двигаться сквозь него.

Вопросы

1. Тяжёлая книга на телефоне не меняет показание его акселерометра. Что это показывает?

- a. Ускорение принадлежит месту, а не тому, что там лежит
 - b. Тяжёлые вещи не притягиваются тяжестью
 - c. Телефон измеряет вес книги
 - d. Под тяжёлыми предметами тяжесть слабее
2. Почему вблизи Земли вес просто пропорционален количеству материи?
- a. Потому что все тела там одного размера
 - b. Потому что ускорение там для всего одинаково
 - c. Потому что вес вовсе не зависит от тяги
 - d. Потому что тяжёлые тела разгоняются быстрее
3. Что такое день или час, по поучению Ньютона?
- a. Само истинное время
 - b. Видимая мера длительности, сделанная каким-то движением
 - c. Часть абсолютного пространства
 - d. Длительность одного движения звёзд
4. Что верно для абсолютного пространства в отличие от пространства, отмеряемого от Земли?
- a. Оно движется вместе с Землёй
 - b. Оно иной формы, чем относительное пространство
 - c. Оно остаётся одинаковым и никогда не движется
 - d. Оно существует только вблизи звёзд

Ответы

1. a) Ускорение принадлежит месту, а не тому, что там лежит; книга изменила то, что несёт стол, а не разгон, который тяжесть даёт в этой

точке.

2. б) Вес — это ускорение на количество материи, а вблизи Земли ускорение для всего одинаково, так что вес следует за одним лишь количеством материи.

3. б) Относительное, обыденное время — это любая видимая мера длительности, сделанная каким-то движением, как час, день, месяц или год.

4. с) Абсолютное пространство по своей природе, безотносительно к чему-либо внешнему, всегда остаётся одинаковым и никогда не движется.

Разобранные примеры

Вес там, где тяжесть вдвое меньше В области, где ускорение тяжести вдвое меньше, чем здесь, сколько весят тела в половину и в треть величины в сравнении с большим телом здесь?

Вес — это ускорение, умноженное на количество материи.

Половина ускорения на половину материи — четверть: вчетверо меньше.

Половина ускорения на треть материи — шестая часть: вшестеро меньше.

Ответ: вчетверо меньше и вшестеро меньше

Задачи

1. Камень у земли каждую секунду набирает около девяти и восьми десятых метра в секунду скорости. Если не учитывать воздух, с какой скоростью он падает через две секунды?

Подсказка: Ускорение — это скорость, добавляемая каждую секунду; умножьте на число секунд.

Ответ: Около девятнадцати и шести десятых метра в секунду: девять и восемь десятых, добавленные дважды.

2. Там, где ускорение тяжести вдвое меньше, тело в четверть величины тела здесь. Во сколько раз меньше оно весит?

Подсказка: Перемножьте долю ускорения и долю материи.

Ответ: В восемь раз меньше: половина на четверть — восьмая часть.

3. Объясните своими словами, почему часы вашего телефона показывают относительное время, а не истинное.

Подсказка: Спросите себя, что на самом деле считают часы.

Ответ: Часы считают движение — колебания крошечного кристалла — и используют этот счёт как меру того, сколько длится вещь.

Истинное время течёт равномерно само по себе; любые часы — лишь движение, которым его измеряют, точно или нет.

Места, матрос и почему покой нельзя увидеть

Наполните стакан водой до краёв и поставьте его на столик поезда, ждущего у платформы. Когда поезд плавно трогается, вода едва дрожит, и с вашего места стакан, столик и вы сами кажетесь совершенно неподвижными. И всё же платформа за окном уплывает. Вы покоитесь или движетесь, и как кто-либо мог бы сказать это наверняка?



Неподвижно в движущемся поезде

Ньютон начинает с места. Место тела — это часть пространства, которую оно заполняет, истинное или относительное в зависимости от пространства; не его положение и не его внешняя оболочка. Два сплошных бруска равной величины всегда заполняют равные места, даже если их формы, а значит и поверхности, различны. А поскольку движение целого — это движения всех его частей вместе, то и место целого — это места всех его частей вместе, внутри тела.

Затем движение делится надвое. Истинное движение — это переход тела из одного места истинного пространства в другое; относительное — его переход из одного места в другое среди окружающих вещей. На корабле под парусами пассажир, сидящий в каюте, остаётся в той же части корабля и потому покоится относительно корабля. Истинный покой означал бы пребывание в одной и той же части неподвижного пространства, сквозь которое несётся весь корабль. Так что, будь Земля истинно неподвижна, сидящий пассажир истинно двигался бы со скоростью корабля; а если движется и Земля, истинное движение пассажира — это движение Земли, движение корабля по Земле и любая ходьба по палубе, всё вместе.



Истинное движение матроса

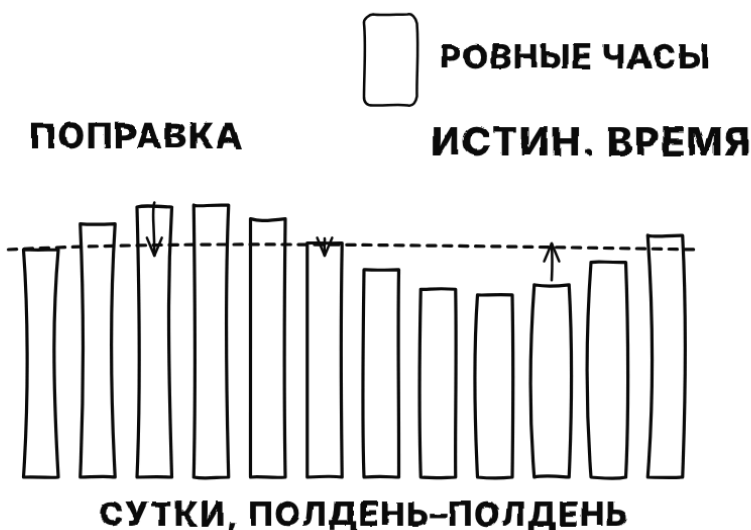
Числа Ньютона делают это наглядным. Пусть участок Земли под кораблём истинно движется на восток со скоростью в десять тысяч десять частей, корабль плывёт на запад со скоростью в десять частей, а матрос прогуливается по палубе на восток со скоростью в одну часть. Скорости вдоль одной линии складываются, каждая измеренная от того, что её несёт: десять тысяч десять, отнять десять, прибавить одну — получается десять тысяч одна часть на восток, истинное движение матроса. Относительно Земли доля самой Земли выпадает: десять частей корабля на запад против одной части матроса на восток оставляют девять частей на запад. Один и тот же матрос мчится сквозь пространство на восток, дрейфуя вдоль берега на запад. GPS вашего телефона сообщает лишь число второго рода — вашу

скорость относительно земли, но никогда не собственное движение Земли.

Опыт

В движущемся поезде откройте приложение, показывающее скорость по GPS, и пройдите по проходу вперёд, а потом назад. Когда вы идёте вперёд, приложение показывает скорость поезда плюс ваш шаг; когда назад — скорость поезда минус ваш шаг. Оно складывает скорости вдоль линии точно так, как Ньютон для матроса, и останавливается на земле.

Время требует той же осторожности. Естественные сутки, от полудня до полудня по солнцу, не все одинаково длинны, хотя все считают их равными; астрономы исправляют это, чтобы вычислять движения небес. Быть может, ни одно движение не совершенно равномерно, так что время никогда нельзя измерить точно; но истинное время течёт неизменно, и длительность вещей одна и та же, быстры ли их движения, медленны или их нет вовсе. Маятниковые часы и затмения спутников Юпитера одинаково показывают, что поправка нужна. Полдень солнечных часов в течение года отклоняется примерно на четверть часа в ту или другую сторону от ровных часов вашего телефона — это то самое неравенство суток.

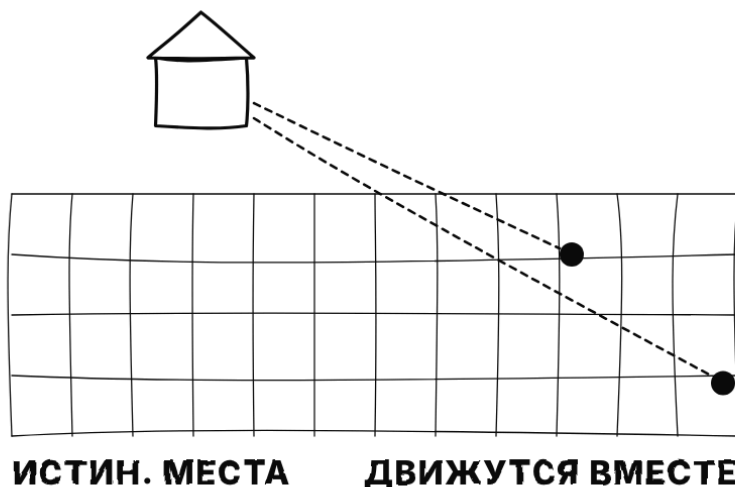


Естественные сутки неравны

Части времени вечно сохраняют свой порядок, и так же части пространства. Сдвинуть часть пространства с её места значило бы сдвинуть её с самой себя, потому что времена и пространства — это места и самих себя, и всего остального: всё находится во времени в порядке следования, а в пространстве — в порядке расположения. Так что это и есть истинные места, и переходы из них — единственные истинные движения.

Но части пространства мы не видим и не можем различить, поэтому вместо них пользуемся видимыми мерами. Мы выбираем какое-нибудь тело, которое считаем неподвижным, определяем каждое место по расстоянию и направлению от этого тела и судим о каждом движении по этим местам. В

повседневной жизни это не причиняет хлопот, но в натуральной философии нужно смотреть сквозь наши чувства на сами вещи, потому что нигде может не оказаться тела, истинно покоящегося, от которого можно было бы мерить.



Места, отмеряемые от тела

Затем Ньютон обещает отличать истинное движение от относительного по трём вещам: по их свойствам, причинам и действиям. Первое свойство: тела, истинно покоящиеся, покоятся друг относительно друга. Где-то среди далёких неподвижных звёзд или за ними может быть тело, истинно покоящееся; но ничто в том, как окружающие нас тела расположены друг относительно друга, не скажет, сохраняют ли они одно и то же положение по отношению к тому далёкому телу.

Так что истинный покой никогда нельзя найти по положениям тел в нашей части мира. Как вода в стакане в плавно идущем поезде, всё вокруг нас может казаться совершенно неподвижным, хотя всё оно движется вместе.

Запомним

Место — это часть пространства, которую заполняет тело, а место целого — это места его частей вместе. Истинное движение — это переход сквозь истинное пространство; относительное движение измеряется по окружающим вещам, и пассажир, покоящийся на плывущем корабле, на самом деле движется. Матрос Ньютона истинно движется на десять тысяч одну часть на восток и на девять частей на запад относительно Земли, потому что скорости вдоль линии складываются. Истинное время течёт неизменно, а сутки и часы лишь измеряют его, и астрономы исправляют неравные сутки. Поскольку мерить мы можем лишь от тел, которые считаем неподвижными, а ни одно может не быть истинно неподвижным, истинный покой нельзя найти по положениям окружающих нас тел.

Вопросы

1. Пассажир неподвижно сидит в каюте плывущего корабля. Относительно чего он покоится?
 - а. Относительно неподвижного пространства

- b. Относительно корабля, часть которого он занимает
 - c. Относительно звёзд
 - d. Относительно центра Земли
2. Почему при нахождении движения матроса относительно Земли движение самой Земли выпадает?
- a. Потому что Земля не движется
 - b. Потому что движение относительно Земли отмеряется от Земли, так что её собственная доля не учитывается
 - c. Потому что Земля движется слишком медленно, чтобы это имело значение
 - d. Потому что учитывается лишь движение корабля
3. Почему вместо истинных мест мы пользуемся видимыми мерами?
- a. Потому что истинные места всегда движутся
 - b. Потому что части пространства мы не видим и различить не можем
 - c. Потому что истинные места слишком далеко
 - d. Потому что измеренные места точнее
4. Почему истинный покой никогда нельзя найти по положениям окружающих нас тел?
- a. Потому что во Вселенной ничто не покоится
 - b. Потому что истинно покоящееся тело может быть далеко, а взаимные положения наших тел не покажут, сохраняют ли они положение относительно него
 - c. Потому что положения нельзя измерить
 - d. Потому что покой — то же, что движение

Ответы

1. **б)** Пассажир, сидящий в каюте, остаётся в той же части корабля и потому покоится относительно корабля; истинный покой означал бы пребывание в одной и той же части неподвижного пространства.
2. **б)** Относительно Земли доля самой Земли выпадает, остаются десять частей корабля на запад против одной части матроса на восток: девять на запад.
3. **б)** Части пространства мы не видим и различить не можем, поэтому пользуемся видимыми мерами, взятыми от какого-нибудь тела, считаемого неподвижным.
4. **б)** Среди неподвижных звёзд или за ними может быть тело, истинно покоящееся, но ничто в том, как окружающие нас тела расположены друг относительно друга, не скажет, сохраняют ли они одно и то же положение по отношению к нему.

Разобранные примеры

Истинное и относительное движение матроса Земля под кораблём движется на восток со скоростью в десять тысяч десять частей, корабль плывёт на запад со скоростью в десять, а матрос идёт по палубе на восток со скоростью в одну. Найдите истинное движение матроса и его движение относительно Земли.

Скорости вдоль одной линии складываются, каждая измеренная от того, что её несёт.

Истинное движение: десять тысяч десять, отнять десять, прибавить одну — получается десять тысяч одна часть на восток.

Относительно Земли отбросим долю Земли: десять на запад против одной на восток оставляют девять частей на запад.

Ответ: истинно десять тысяч одна часть на восток; девять частей на запад относительно Земли

Задачи

1. Пусть Земля по-прежнему движется на десять тысяч десять частей на восток, а корабль на десять на запад, но матрос идёт на запад со скоростью в одну часть. Каковы его истинное и относительное движения?

Подсказка: Сложите скорости вдоль линии: восток считается вперёд, запад — назад.

Ответ: Истинно: десять тысяч десять, отнять десять, отнять одну — девять тысяч девятьсот девяносто девять частей на восток; относительно Земли: десять на запад и ещё одна на запад — одиннадцать частей на запад.

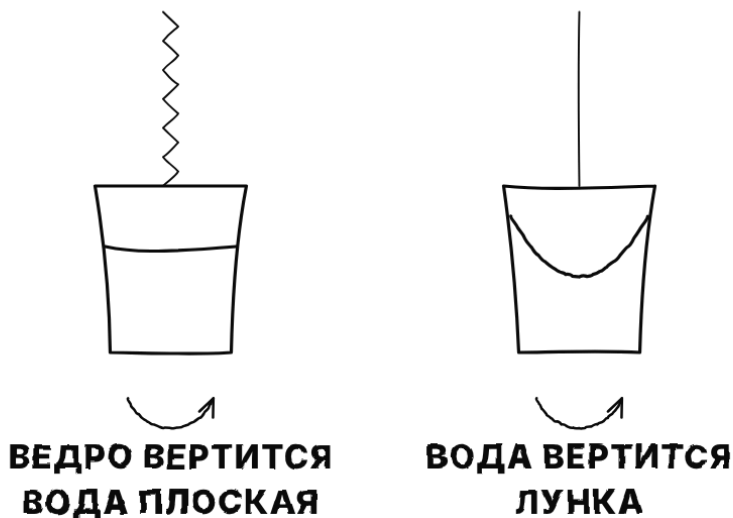
2. Своими словами: почему стакан воды в плавно идущем поезде не говорит вам, движетесь ли вы?

Подсказка: Подумайте, с чем вы сравниваете стакан.

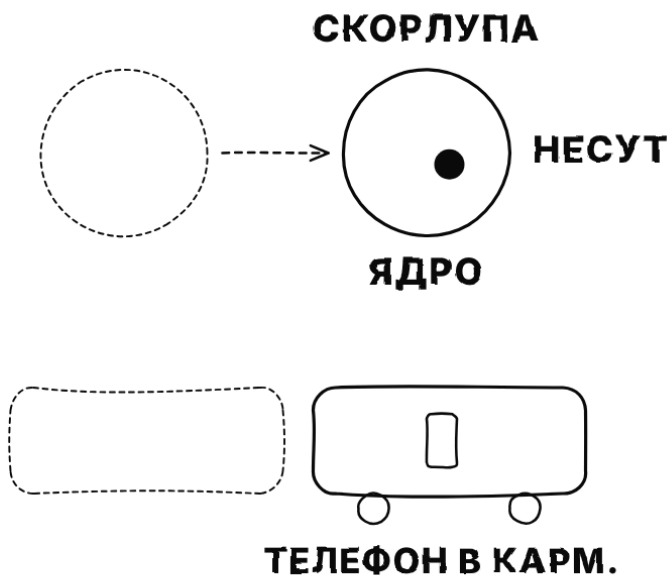
Ответ: Стакан, столик и вы движетесь вместе, так что друг относительно друга вы все покоитесь. Сравнение тел, движущихся вместе, не может выявить их общего движения, как и положения окружающих нас тел не могут выявить истинного покоя.

Ядро, скорлупа и вращающееся ведро

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. Сначала вода внутри остаётся плоской и спокойной, пока ведро вращается вокруг неё. Затем мало-помалу вода начинает вращаться вместе с ведром, её середина опускается, и она взбирается по стенкам, образуя лунку, пока вода и ведро не завертятся вместе. Ньютон проделал этот опыт сам, и он — ключ ко всему в этой части.



Но сначала свойство движения: части, сохраняющие неизменное положение внутри целого, разделяют движение целого. Каждая часть вращающегося тела стремится наружу, прочь от оси, а напор движущегося тела вперёд — это все напоры его частей вместе. Так что если вещи вокруг тела движутся, то тело, покоящееся среди них, движется вместе с ними. Вот почему истинное движение нельзя найти, наблюдая тело на фоне вещей, которые лишь кажутся покоящимися: они должны были бы покоиться истинно. Образ Ньютона — скорлупа и её ядро: если движется скорлупа, движется и ядро, ни на миг не удаляясь от скорлупы. Телефон, неподвижно лежащий в вашем кармане в едущем автобусе, — это ядро: он никогда не сдвигается в кармане, но пересекает город вместе с автобусом.



Двигается скорлупа — движется и ядро

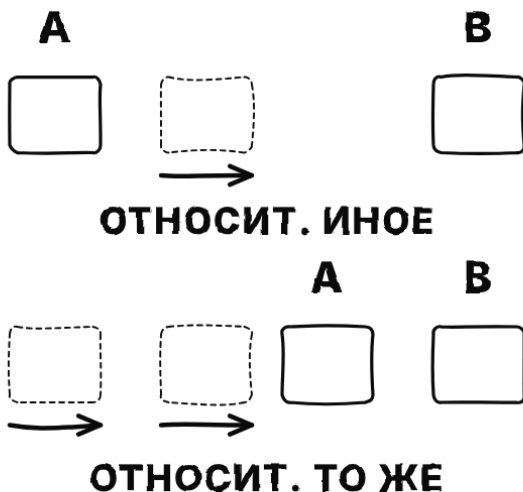
Близкий родственник этого свойства: если место движется, всё, что в нём находится, движется вместе с ним. Так что любое движение, измеренное от движущегося места, — лишь часть истинного движения. Истинное движение складывается шаг за шагом: движение тела на его месте плюс движение этого места на его собственном месте и так далее, пока не дойдём до неподвижного места, — как с матросом, чьё истинное движение складывало движение Земли, корабля и его собственное. Расчёт словами: чашка скользит вперёд по подносу со скоростью один метр в секунду, официант идёт вперёд по поезду со скоростью один метр в секунду, а поезд идёт со скоростью двадцать метров в секунду, так что чашка движется относительно земли со скоростью двадцать два метра в секунду, и даже это не её истинное движение, потому что земля тоже несётся. Так что целые, истинные движения можно закрепить лишь относительно неподвижных мест, а неподвижны лишь те места, что от бесконечности до бесконечности сохраняют одно и то же положение друг относительно друга и вместе составляют неподвижное пространство.



Движения складываются

Дальше — причины. Истинное движение никогда не возникает и не меняется иначе как силой, приложенной к самому телу. Относительное движение может измениться вовсе без силы на тело: толкните вместо него вещи, с которыми его сравнивают, — и соотношение изменится. А сила на тело всегда меняет его истинное движение, тогда как его относительное движение может остаться прежним, если вещи, с которыми его сравнивают, толкнуть одинаково и они сохраняют свои положения. Когда автобус тормозит, вы и телефон в вашем кармане замедляетесь вместе: относительно вас телефон не движется, но его истинное движение изменилось. Так что относительное движение может меняться, пока истинное остаётся прежним, и оставаться

прежним, пока истинное меняется; истинное движение не состоит в таких соотношениях.



Толкните другое тело

Затем действия, и здесь возвращается ведро. Истинное круговое движение от чисто относительного отличает стремление удалиться от оси. Чисто относительное кружение такого стремления не производит; истинное кружение производит его больше или меньше, смотря по тому, сколько кругового движения.

**ОТНОСИТ.:
МАКС.**



НАПОР: НЕТ

**ОТНОСИТ.:
НЕТ**



НАПОР: МАКС.

Стремление следует за истинным вращением

Посмотрите снова на ведро. В начале вода быстрее всего движется относительно ведра, ведь ведро вертится вокруг неподвижной воды; но поверхность остаётся плоской, без всякого стремления наружу. Значит, истинное кружение воды ещё не началось. Позже, когда вода догоняет ведро и её движение относительно ведра уменьшается, она взбирается по стенкам, показывая своё стремление наружу, и это стремление растёт, пока вода не завертится вместе с ведром и не станет покоиться относительно него, — в тот миг, когда она поднимается выше всего. Стремление следует за истинным кружением, а не за движением относительно окружающего ведра, так что истинное круговое движение нельзя определить такими соотношениями.

Опыт

Энергично размешайте чашку чая ложкой, потом выньте ложку. Пока чай вращается, его поверхность прогибается в середине и поднимается у края, а чаинки или крошки собираются к центру у дна. Вогнутая поверхность — это стремление прочь от оси, признак истинного вращения, точно как в ведре Ньютона.

У каждого вращающегося тела лишь одно истинное круговое движение, которому соответствует одно стремление прочь от оси — его собственное действие. Но относительных движений у него бесчисленное множество — по одному на каждое тело, с которым его можно сравнить, — и у них, как у всяких соотношений, нет собственного действительного действия. Это решает судьбу старой картины небес, в которой планеты уносятся по кругу вращающимися сферами, покоясь внутри них: такие планеты истинно двигались бы, потому что меняют положение друг относительно друга, чего тела, истинно покоящиеся, никогда не делают, и как части вращающегося целого стремятся прочь от его оси. Режим отжима в стиральной машине показывает то же стремление: истинное вращение барабана прижимает бельё наружу к стенке, что бы ни делала комната вокруг.

Запомним

Части разделяют движение своего целого, как ядро движется со скорлупой или телефон с автобусом, так что покой среди движущихся вещей — не истинный покой. Истинное движение складывается из вложенных движений вплоть до неподвижного пространства, и меняет его лишь сила, приложенная к самому телу. Относительное движение может измениться без всякой силы на тело или остаться прежним вопреки ей, так что истинное движение — не соотношение с другими телами. Действие, выдающее истинное кружение, — стремление прочь от оси: в ведре Ньютона вода поднимается по стенкам лишь тогда, когда истинно вращается, а не когда просто движется относительно ведра. У каждого вращающегося тела одно истинное круговое движение и бесчисленное множество относительных, и лишь истинное имеет действительное действие.

Вопросы

1. В начале опыта с ведром вода быстрее всего движется относительно ведра, но её поверхность остаётся плоской. Что это показывает?
 - a. Что ведро на самом деле не вращается
 - b. Что истинное кружение воды ещё не началось
 - c. Что вода не может вращаться

- d. Что верёвка не закручена
2. Когда вода поднимается по стенкам ведра выше всего?
- a. Когда она быстрее всего движется относительно ведра
 - b. Когда она вращается вместе с ведром и покоится относительно него
 - c. Сразу после того, как ведро отпустили
 - d. Когда ведро останавливается
3. Чашка скользит вперёд по подносу со скоростью один метр в секунду, официант идёт вперёд по поезду со скоростью один метр в секунду, а поезд идёт со скоростью двадцать. С какой скоростью чашка движется относительно земли?
- a. Двадцать метров в секунду
 - b. Двадцать один метр в секунду
 - c. Двадцать два метра в секунду
 - d. Два метра в секунду
4. Почему телефон, лежащий в вашем кармане в едущем автобусе, нельзя назвать истинно покоящимся?
- a. Потому что он вибрирует
 - b. Потому что части, сохраняющие положение внутри целого, разделяют движение целого
 - c. Потому что карманы — не места
 - d. Потому что он слишком мал, чтобы покоиться

Ответы

1. b) Чисто относительное кружение не производит стремления прочь от оси; плоская поверхность показывает, что истинное кружение воды

ещё не началось.

2. б) Когда вода догоняет ведро, она всё выше поднимается по стенкам, пока не завертится вместе с ведром и не станет покоиться относительно него, — в этот миг она поднимается выше всего.

3. с) Истинное движение складывается шаг за шагом из вложенных движений: один плюс один плюс двадцать — двадцать два метра в секунду относительно земли.

4. б) Части, сохраняющие неизменное положение внутри целого, разделяют движение целого; телефон — ядро, автобус — скорлупа.

Разобранные примеры

Вложенные движения в поезде Чашка скользит вперёд по подносу со скоростью один метр в секунду, официант идёт вперёд по поезду со скоростью один метр в секунду, а поезд идёт относительно земли со скоростью двадцать метров в секунду. С какой скоростью чашка движется относительно земли?

Каждое движение измерено от места, которое его несёт.

Движение чашки по подносу, официанта по поезду и поезда по земле направлены вперёд, так что складываются.

Один плюс один плюс двадцать — двадцать два.

Ответ: двадцать два метра в секунду относительно земли

Задачи

1. Теперь официант идёт по поезду назад со скоростью один метр в секунду, а чашка по-прежнему скользит вперёд со скоростью один. Поезд идёт со скоростью двадцать. С какой скоростью чашка движется относительно земли?

Подсказка: Движения вперёд складываются, назад — вычитаются.

Ответ: Двадцать метров в секунду: один вперёд и один назад взаимно уничтожаются, остаются двадцать поездов.

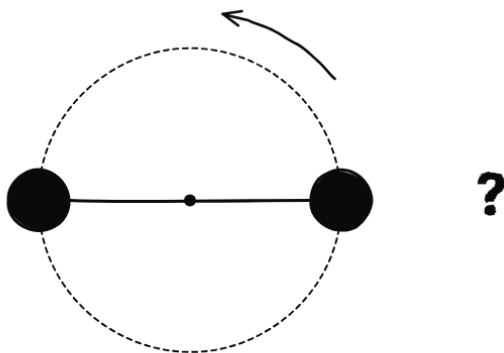
2. Своими словами: почему вогнутая поверхность размешанного чая показывает истинное вращение, а не относительное?

Подсказка: Спросите себя, зависит ли лунка от того, с чем вы сравниваете чай.

Ответ: Лунка — это стремление прочь от оси, которое производит лишь истинное вращение; чисто относительное кружение такого действия не имеет. Она появляется, смотрите ли вы от стола или из движущегося поезда, так что ни от какого сравнения не зависит.

Два шара в пустом небе

Представьте два тяжёлых шара, связанных прочной верёвкой и вращающихся вокруг своей общей середины далеко в пустом пространстве, где больше не на что смотреть. Мог бы кто-нибудь сказать, что они вращаются? Ньютон говорит, что да, и эта последняя часть показывает как.



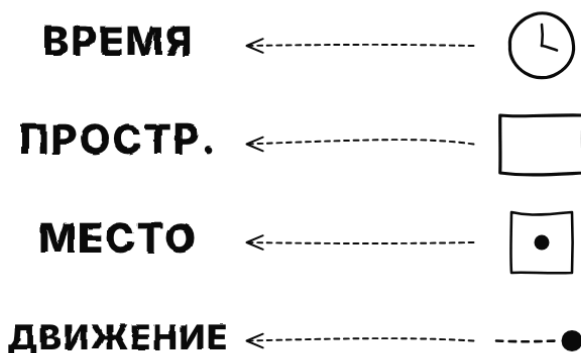
ПУСТОТА

Два шара в пустом пространстве

Сначала замечание о словах. Относительные величины — наши часы, наши измеренные места, наши скорости относительно земли — не те истинные величины, в честь которых названы, а

видимые меры, которыми мы обычно пользуемся вместо них, точные или нет. Если слова значат то, что им придаёт повседневное употребление, то «время», «пространство», «место» и «движение» называют эти меры, а употреблять их для истинных величин — необычно и чисто математически. Ньютон предупреждает, что смешение действительных величин с их соотношениями и повседневными мерами портит чистоту математической и философской истины и что вчитывать истинные величины в Писание — значит насиловать его.

ВЕЛИЧИНЫ $\neq$ МЕРЫ



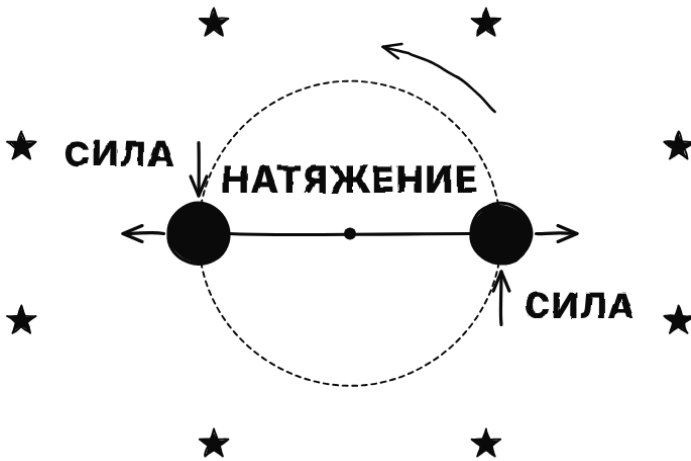
Величины и их меры

Найти истинные движения отдельных тел очень трудно, признаёт он, потому что части неподвижного пространства никогда нельзя увидеть. Но это не безнадежно, потому что есть

два рода подсказок: кажущиеся движения, которые суть разности истинных движений, и силы, которые суть их причины и действия.

Вернёмся к двум шарам. Верёвку между ними туго натягивает их стремление наружу — усилие всего, что истинно вращается, удалиться от своей оси. Так что по тому, насколько туго натянута верёвка, мы можем сказать, сколько у шаров кружения. Теперь одновременно приложите равные толчки к одинаковым граням обоих шаров: если верёвка натянется сильнее, эти толчки ускорили шары; если ослабнет — замедлили. Это говорит, какие грани идут позади, а какие впереди, и значит, в какую сторону вращаются шары, — даже в безмерном пустом пространстве, где не с чем их сравнить. Гирискон телефона делает нечто похожее: он чувствует собственное истинное вращение по силам внутри микросхемы — так ваш экран узнаёт, что вы его повернули, даже в тёмной комнате.

НЕПОДВ. ЗВЁЗДЫ



ШАРЫ ВЕРТЯТСЯ

Натяжение, толчки и звёзды

Теперь поместите вокруг них какие-нибудь далёкие тела, всегда сохраняющие одно и то же положение друг относительно друга, как неподвижные звёзды. Наблюдая, как шары движутся на фоне этих тел, мы не могли бы сказать, вращаются ли шары или далёкие тела кружат вокруг них. Но если натяжение верёвки ровно такое, какого требует вращение шаров, мы можем заключить, что движутся шары, а далёкие тела покоятся; и тогда по перемещению шаров среди них мы найдём, в какую сторону они вращаются.

Как собирать истинные движения из их причин, действий и кажущихся разностей и как, наоборот, узнавать причины и действия по движениям — это и объясняет остальная книга; для

этого, говорит Ньютон, он её и написал. Когда материя, движение и сила определены, а истинное движение отделено от видимости, могут начаться законы движения.

Запомним

Наши повседневные часы, места и скорости — это меры, а не те истинные величины, в честь которых они названы, и их нельзя смешивать. Истинные движения трудно найти, потому что неподвижное пространство нельзя увидеть, но кажущиеся движения и силы дают подсказки. Два шара на верёвке в пустом пространстве выдают своё вращение натяжением верёвки, а дополнительные толчки выдают его направление. Находить истинные движения по причинам и действиям, а причины — по движениям, — вот цель всей книги.

Вопросы

1. Как в пустом небе можно обнаружить вращение двух шаров на верёвке?
 - a. Наблюдая, как они проходят мимо звёзд
 - b. По тому, насколько туго натянута верёвка их стремлением наружу
 - c. По звуку, который они издают
 - d. Его нельзя обнаружить

2. Если равные толчки по одинаковым граням двух шаров ослабляют верёвку, что сделали толчки?
- a. Ускорили шары
 - b. Замедлили шары
 - c. Не дали верёвке вращаться
 - d. Ровно ничего
3. Что такое, по Ньютону, наши повседневные часы и измеренные места?
- a. Сами истинные величины
 - b. Видимые меры, которыми пользуются вместо истинных величин
 - c. Части неподвижного пространства
 - d. Силы, действующие на тела

Ответы

1. **b)** Верёвку туго натягивает стремление шаров наружу, так что по тому, насколько она натянута, можно сказать, сколько у них кружения.
2. **b)** Если верёвка натягивается сильнее, толчки ускорили шары; если ослабевает — замедлили.
3. **b)** Относительные величины — не те истинные величины, в честь которых названы, а видимые меры, которыми мы обычно пользуемся вместо них.

Задачи

1. Своими словами: как толчки по двум шарам могли бы выдать, в какую сторону они вращаются?

Подсказка: Подумайте, при толчке по каким граням верёвка натягивается сильнее.

Ответ: Толчки, ускоряющие шары, натягивают верёвку сильнее. Найдя грани, толчок по которым натягивает верёвку, мы узнаём, какие грани при кружении идут позади, а какие впереди, и это даёт направление вращения.

2. Почему одно наблюдение шаров на фоне неподвижных звёзд не могло бы сказать, движутся шары или звёзды?

Подсказка: Подумайте, что показывает изменение взаимного положения.

Ответ: Изменение взаимного положения выглядит одинаково, вращаются ли шары или звёзды кружат вокруг них. Лишь натяжение верёвки, совпадающее с тем, что требует вращение шаров, показывает, что движутся шары, а звёзды покоятся.