

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

Определения

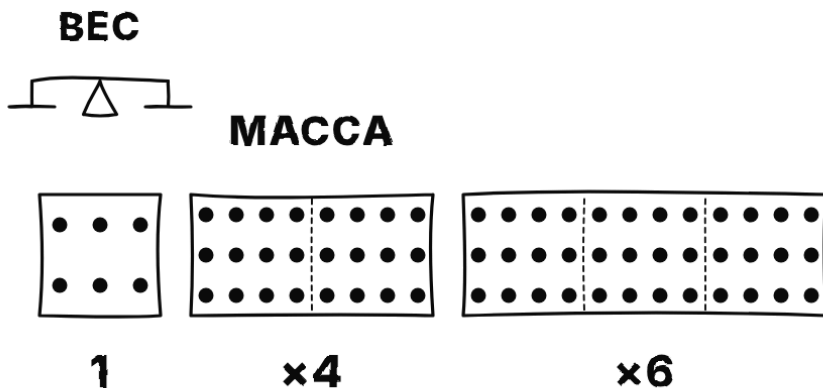
Определения VII и VIII и поучение о времени, пространстве, месте и движении

Истинные и относительные время, место и движение;
вращающийся сосуд

Меры и величины; два шара

Определения

Определение I.



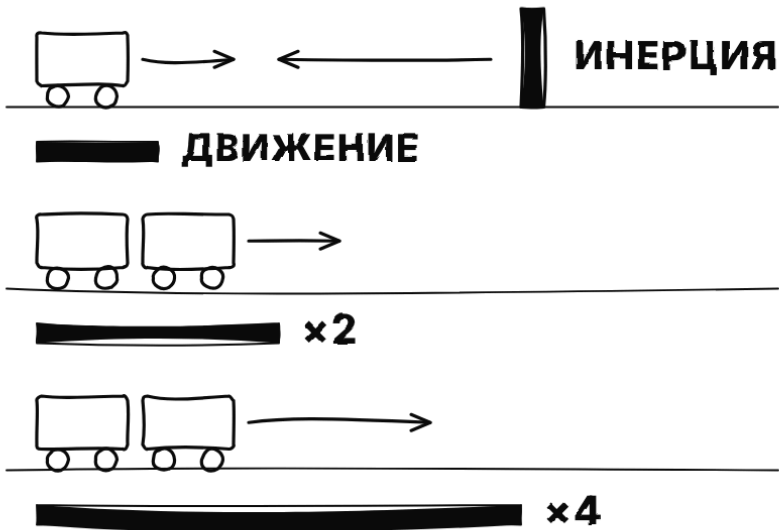
Плотность на объём

Количество материи есть мера её, устанавливаемая пропорционально плотности и объёму её совместно.

Так, воздух двойной плотности в двойном объёме по количеству вчетверо больше, а в тройном объёме — вшестеро. То же надо понимать о снеге и о мелкой пыли или порошках, уплотнённых сжатием или сжижением, и обо всех телах, которые по каким бы то ни было причинам уплотнены по-разному. Среды, если

таковая существует, свободно проникающей в промежутки между частями тел, я здесь не принимаю во внимание. Именно это количество я и разумею далее повсюду под названием тела или массы. Оно узнаётся по весу каждого тела, ибо пропорционально весу, как я нашёл опытами над маятниками, произведёнными с большой точностью, о чём будет показано далее.

Определение II.



Количество движения

Количество движения есть мера его, устанавливаемая пропорционально скорости и количеству материи совместно.

Движение целого есть сумма движений всех его частей; поэтому у тела, вдвое большего по количеству, при равной скорости

движение вдвое больше, а при двойной скорости — вчетверо.

Определение III.

Vis insita, или врождённая сила материи, есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, стремится сохранить своё нынешнее состояние — покоя или равномерного прямолинейного движения.

Эта сила всегда пропорциональна тому телу, которому она принадлежит, и ничем не отличается от инертности массы, разве только способом, каким мы её мыслим. Из-за инертности материи тело не без труда выводится из своего состояния покоя или движения. Поэтому эту *vis insita* можно весьма выразительно назвать *vis inertiae*, или силой инерции. Но тело проявляет эту силу только тогда, когда другая, приложенная к нему сила стремится изменить его состояние; и проявление этой силы можно рассматривать и как сопротивление, и как напор. Это сопротивление, поскольку тело, сохраняя своё нынешнее состояние, противится приложенной силе; это напор, поскольку тело, нелегко уступая приложенной силе другого тела, стремится изменить состояние этого другого. Сопротивление обычно приписывают телам покоящимся, а напор — движущимся; но движение и покой, как их обычно понимают, различаются лишь относительно, и не всегда истинно покоятся те тела, которые обычно считаются покоящимися.

Определение IV.

Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного

прямолинейного движения.

Эта сила состоит только в действии и по прекращении действия в теле не остаётся. Ибо всякое новое приобретённое состояние тело сохраняет одной лишь своей *vis inertiae*. Приложенные силы бывают разного происхождения: от удара, от давления, от центростремительной силы.

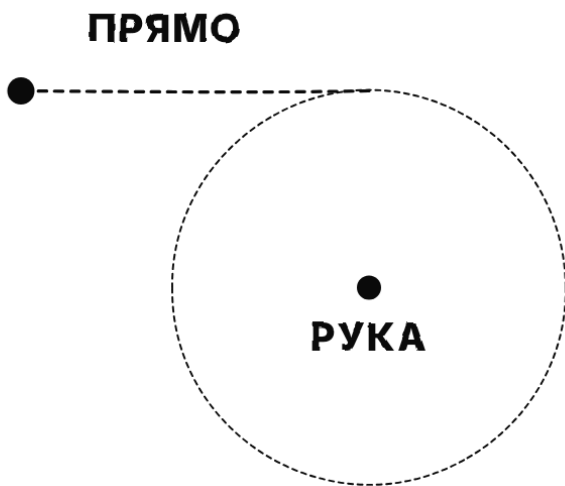
Определение V.

Центростремительная сила есть та, с которой тела притягиваются, или толкаются, или как бы то ни было стремятся к некоторой точке как к центру.

Такова тяжесть, по которой тела стремятся к центру Земли; магнетизм, по которому железо стремится к магниту; и та сила, какова бы она ни была, которой планеты непрестанно отклоняются от прямолинейного движения, которому иначе следовали бы, и вынуждаются обращаться по криволинейным орбитам. Камень, вращаемый в праще, стремится удалиться от вращающей его руки и этим стремлением натягивает пращу тем сильнее, чем быстрее он вращается, а как только его отпускают, он улетает. Ту силу, которая противодействует этому стремлению и которой праща непрестанно тянет камень назад к руке и удерживает его на орбите, я называю центростремительной, потому что она направлена к руке как к центру орбиты. То же надо понимать обо всех телах, обращающихся по каким угодно орбитам. Все они стремятся удалиться от центров своих орбит; и если бы не противодействие противоположной силы, которая удерживает их на орбитах и которую я поэтому называю центростремительной, они улетели бы по прямым линиям равномерным движением. Брошенное тело, не будь силы

тяжести, не отклонялось бы к Земле, а удалялось бы от неё по прямой линии, и притом равномерным движением, если бы устранить сопротивление воздуха. Именно тяжестью оно непрестанно отклоняется от прямолинейного пути и отклоняется к Земле больше или меньше, смотря по силе его тяжести и по скорости его движения. Чем меньше его тяжесть сравнительно с количеством его материи или чем больше скорость, с которой оно брошено, тем меньше оно отклонится от прямолинейного пути и тем дальше улетит. Если свинцовое ядро, выпущенное с вершины горы силой пороха с данной скоростью в направлении, параллельном горизонту, пролетает по кривой линии две мили, прежде чем упасть на землю, то оно же при двойной или десятикратной скорости, если устранить сопротивление воздуха, пролетело бы вдвое или вдесятеро дальше. И, увеличивая скорость, можно по желанию увеличивать дальность полёта и уменьшать кривизну описываемой линии, так что ядро упало бы наконец на расстоянии 10, 30 или 90 градусов, или даже облетело бы вокруг всей Земли, прежде чем упасть; или, наконец, так, что оно никогда не упало бы на Землю, а ушло бы в небесные пространства и продолжало бы своё движение *in infinitum*. И точно так же, как брошенное тело силой тяжести может быть приведено к обращению по орбите вокруг всей Земли, так и Луна — либо силой тяжести, если она обладает тяжестью, либо какой-нибудь другой силой, влекущей её к Земле, — может непрестанно отклоняться к Земле от прямолинейного пути, по которому шла бы своей врождённой силой, и вынуждаться обращаться по той орбите, которую она ныне описывает; и без такой силы Луна не могла бы удерживаться на своей орбите. Будь эта сила слишком мала, она недостаточно отклоняла бы Луну от прямолинейного пути; будь слишком велика — отклоняла бы её слишком сильно и

стянула бы Луну с орбиты к Земле. Необходимо, чтобы сила была надлежащей величины, и дело математиков — найти силу, которая в точности удерживала бы тело на данной орбите с данной скоростью, и, обратно, определить криволинейный путь, на который тело, брошенное из данного места с данной скоростью, будет отклонено от своего естественного прямолинейного пути данной силой.



Камень в праще

Величину всякой центростремительной силы можно рассматривать трёх родов: абсолютную, ускорительную и движущую.

Определение VI.

Абсолютная величина центростремительной силы есть мера её, пропорциональная действенности причины, распространяющей её от центра по окружающему пространству.

Вопросы

1. Два тела занимают ровно одинаковое пространство, но одно вдвое плотнее другого. Как соотносятся их количества материи?
 - a. Они равны, раз пространство одно и то же
 - b. У более плотного вдвое больше материи
 - c. У более плотного вчетверо больше материи
 - d. Этого не сказать, не взвесив их в воде
2. Почему после того, как приложенная сила перестала действовать, тело сохраняет своё новое состояние движения?
 - a. Часть силы остаётся запасённой внутри тела
 - b. Его продолжает толкать среда между его частями
 - c. Приложенную силу сменяет его центростремительная сила
 - d. Новое состояние оно сохраняет одной своей *vis inertiae*
3. Что, согласно отрывку, случилось бы с Луной, будь сила, влекущая её к Земле, слишком велика?
 - a. Её стянуло бы с орбиты к Земле
 - b. Она улетела бы по прямой линии

- с. Она осталась бы на той же орбите, но двигалась бы быстрее
 - д. Она остановилась бы на своём нынешнем месте
4. Почему ядро, выпущенное с горы с большей скоростью, улетает дальше, прежде чем упасть?
- а. Тяжесть действует на него лишь в конце полёта
 - б. Его *vis inertiae* растёт со скоростью и уничтожает тяжесть
 - с. Оно меньше отклоняется от прямолинейного пути и потому летит дальше
 - д. Количество его материи растёт вместе со скоростью

Ответы

1. **б)** Количество материи устанавливается плотностью и объёмом совместно; при том же объёме удвоение плотности удваивает количество.
2. **д)** Приложенная сила состоит только в действии и в теле не остаётся; всякое новое состояние тело сохраняет одной лишь своей *vis inertiae*.
3. **а)** Будь сила слишком велика, она отклоняла бы Луну слишком сильно и стянула бы её с орбиты к Земле; будь слишком мала — Луна недостаточно отклонялась бы от прямой.
4. **с)** Чем больше скорость, с которой оно брошено, тем меньше оно отклоняется от прямолинейного пути и тем дальше улетит.

Разобранные примеры

Более плотный воздух в большем объёме Воздух двойной плотности заполняет двойной объём, а тот же плотный воздух —

тройной. Во сколько раз больше исходного количества материи каждый раз?

Количество материи устанавливается плотностью и объёмом совместно, так что два множителя перемножаются.

Двойная плотность в двойном объёме: дважды два — четверо больше количества.

Двойная плотность в тройном объёме: дважды три — шестеро больше количества.

Ответ: четверо в двойном объёме, шестеро в тройном

Свинцовое ядро с горы Свинцовое ядро, выпущенное с горы горизонтально, падает в двух милях. Как далеко оно улетит, если устранить сопротивление воздуха, при двойной и при десятикратной скорости?

Отрывок говорит, что без сопротивления воздуха дальность полёта растёт в той же пропорции, что и скорость.

Двойная скорость: дважды две мили — четыре мили.

Десятикратная скорость: десять раз по две мили — двадцать миль.

Ответ: 4 мили и 20 миль

Задачи

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

Подсказка: Количество движения устанавливается скоростью и количеством материи совместно: перемножьте два множителя.

Ответ: Четверо: вдвое больше материи удваивает движение, а двойная скорость удваивает его ещё раз, как говорит отрывок, — четверо.

2. Одно тело втрое плотнее другого и занимает вдвое больший объём. Как соотносятся их количества материи?

Подсказка: Плотность и объём берутся совместно, так что перемножьте их.

Ответ: Вшестеро больше: тройная плотность на двойной объём.

3. То же свинцовое ядро, падающее в двух милях, выпускают без воздуха с тройной скоростью. Как далеко оно улетит?

Подсказка: Без воздуха дальность растёт пропорционально скорости.

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

Определения VII и VIII и поучение о времени, пространстве, месте и движении

Так, магнитная сила одного магнита больше, а другого меньше, смотря по их величине и напряжённости.

Определение VII.

Ускорительная величина центростремительной силы есть мера её, пропорциональная скорости, которую она производит в данное время.

Так, сила одного и того же магнита больше на меньшем расстоянии и меньше на большем; также и сила тяжести больше в долинах, меньше на вершинах чрезвычайно высоких гор и ещё меньше, как будет показано далее, на больших расстояниях от тела Земли. Но на равных расстояниях она повсюду одна и та же, потому что, если устранить или учесть сопротивление воздуха, она одинаково ускоряет все падающие тела, тяжёлые или лёгкие, большие или малые.

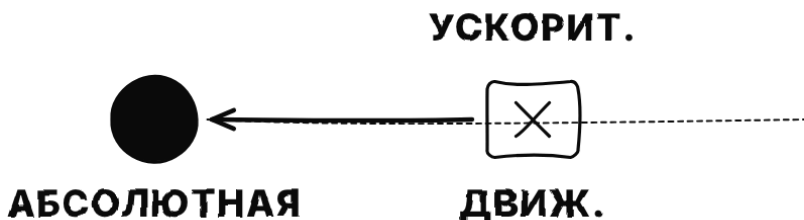
Определение VIII.

Движущая величина центростремительной силы есть мера её, пропорциональная количеству движения, которое она производит в данное время.

Так, вес больше у большего тела и меньше у меньшего; а у одного и того же тела он больше вблизи Земли и меньше на более

далёких расстояниях. Величина этого рода есть центростремительность, или стремление всего тела к центру, или, так сказать, его вес; и она всегда узнаётся по величине равной и противоположной силы, как раз достаточной, чтобы помешать падению тела.

Эти величины сил мы можем ради краткости называть движущими, ускорительными и абсолютными силами, а ради различия относить их к телам, стремящимся к центру, к местам этих тел и к центру силы, к которому они стремятся. То есть движущую силу я отношу к телу как стремление и наклонность целого к центру, складывающуюся из наклонностей отдельных частей вместе; ускорительную силу — к месту тела как некую способность или действенность, распространённую от центра по всем окружающим местам, чтобы двигать находящиеся в них тела; а абсолютную силу — к центру как наделённому некоей причиной, без которой эти движущие силы не распространялись бы по окружающему пространству. Причиной этой может быть какое-либо центральное тело, как магнит в центре магнитной силы, или Земля в центре силы тяжести, или что-нибудь иное, пока не обнаружившееся. Ибо я намерен здесь дать лишь математическое понятие об этих силах, не рассматривая их физических причин и мест.



$$\boxed{\text{ДВИЖ.}} = \boxed{\text{УСКОР.}} \times \boxed{\text{МАТЕРИЯ}}$$

УСКОР. $\frac{1}{2}$: ТЕЛО $\frac{1}{2}$ → ВЕС $\frac{1}{4}$

УСКОР. $\frac{1}{2}$: ТЕЛО $\frac{1}{3}$ → ВЕС $\frac{1}{6}$

Три меры силы

Поэтому ускорительная сила будет относиться к движущей так же, как скорость к количеству движения. Ибо количество движения получается от скорости, умноженной на количество материи, а движущая сила — от ускорительной силы, умноженной на то же количество материи. Ведь сумма действий ускорительной силы на отдельные частицы тела и есть движущая сила целого. Отсюда и выходит, что вблизи поверхности Земли, где ускорительная тяжесть, или сила, производящая тяжесть, у всех тел одна и та же, движущая тяжесть, или вес, пропорциональна телу. Но если бы мы поднялись в более высокие области, где ускорительная тяжесть меньше, вес уменьшился бы в той же мере и всегда был бы пропорционален произведению тела на ускорительную тяжесть. Так, в тех

областях, где ускорительная тяжесть уменьшена вдвое, вес тела, вдвое или втрое меньшего, будет вчетверо или вшестеро меньше.

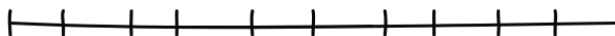
Притяжения и толчки я в том же смысле тоже называю ускорительными и движущими; а слова «притяжение», «толчок» или «стремление» к центру всякого рода я употребляю без разбора, одно вместо другого, рассматривая эти силы не физически, а математически. Поэтому читатель не должен думать, будто этими словами я где-либо берусь определять вид или способ какого-либо действия, его причины или физическое основание, или что я приписываю силы, в истинном и физическом смысле, неким центрам, которые суть лишь математические точки, когда мне случается говорить о центрах как о притягивающих или наделённых притягательной силой.

Поучение.

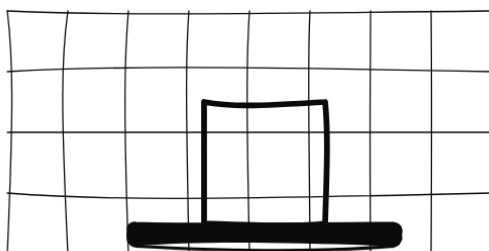
АБСОЛ. ВРЕМЯ



ОБЫДЕН. ВРЕМЯ



ВОЗДУХ



**АБСОЛЮТНОЕ
ПРОСТР.**

ЗЕМЛЯ

Истинные и обыденные время и пространство

До сих пор я давал определения тех слов, которые менее известны, и объяснял, в каком смысле прошу понимать их в дальнейшем изложении. Времени, пространства, места и движения я не определяю как всем хорошо известных. Замечу лишь, что простые люди мыслят эти величины не иначе как по их отношению к чувственно воспринимаемым предметам. Отсюда и возникают некоторые предрассудки, для устранения которых удобно разделить эти величины на абсолютные и относительные, истинные и кажущиеся, математические и обыденные.

Во-первых: абсолютное, истинное и математическое время само по себе и по самой своей природе течёт равномерно,

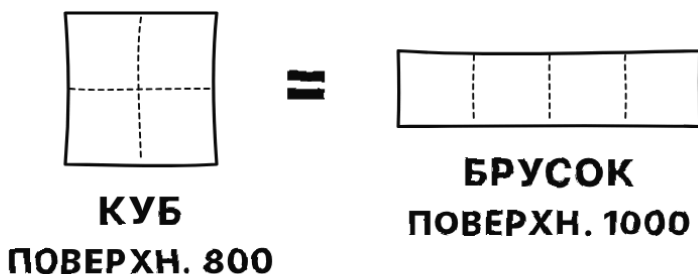
безотносительно к чему-либо внешнему, и иначе называется длительностью. Относительное, кажущееся и обыденное время есть некая чувственно воспринимаемая и внешняя мера длительности посредством движения, точная или неравномерная, которую обычно употребляют вместо истинного времени, как час, день, месяц, год.

Во-вторых: абсолютное пространство по самой своей природе, безотносительно к чему-либо внешнему, остаётся всегда одинаковым и неподвижным. Относительное пространство есть некоторая подвижная часть или мера абсолютных пространств, которую наши чувства определяют по её положению относительно тел и которую обычно принимают за неподвижное пространство; такова часть пространства подземного, воздушного или небесного, определяемая по её положению относительно Земли. Абсолютное и относительное пространство одинаковы по виду и величине, но не всегда остаются одним и тем же численно. Ибо если, например, Земля движется, то часть нашего воздуха, которая относительно Земли всегда остаётся той же, будет то одной частью абсолютного пространства, в которую переходит воздух, то другой его частью; и так, понимаемая абсолютно, она будет непрестанно меняться.

В-третьих: место есть часть пространства, занимаемая телом, и в зависимости от пространства бывает абсолютным или относительным. Я говорю — часть пространства, а не положение и не внешняя поверхность тела. Ибо места равных тел всегда равны, а их поверхности из-за несходства фигур часто неравны. Положения, собственно, не имеют величины и суть не столько сами места, сколько свойства мест. Движение целого есть то же, что сумма движений частей, то есть перемещение целого с его

места есть то же, что сумма перемещений частей с их мест. И потому место целого есть то же, что сумма мест частей, и по этой причине оно внутреннее и находится во всём теле.

ТО ЖЕ МЕСТО



ПО 4 ЧАСТИ

Место — часть пространства

В-четвёртых: абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного места в другое, а относительное — из одного относительного места в другое. Так, на корабле под парусами относительное место тела есть та часть корабля, которую тело занимает, или та часть его полости, которую тело заполняет и которая поэтому движется вместе с кораблём; а относительный покой есть пребывание тела в одной и той же части корабля или его полости. Но истинный, абсолютный покой есть пребывание тела в одной и той же части того неподвижного пространства, в

котором движется сам корабль, его полость и всё, что в нём содержится. Поэтому, если Земля действительно покоится, тело, относительно покоящееся на корабле, будет истинно и абсолютно двигаться с той скоростью, какую корабль имеет относительно Земли. Если же движется и Земля, то истинное и абсолютное движение тела будет складываться отчасти из истинного движения Земли в неподвижном пространстве, отчасти из относительного движения корабля по Земле. А если тело движется ещё и относительно корабля, то его истинное движение будет складываться отчасти из истинного движения Земли в неподвижном пространстве, отчасти из относительных движений и корабля по Земле, и тела по кораблю; а из этих относительных движений сложится относительное движение тела по Земле. Пусть, например, та часть Земли, где находится корабль, истинно движется к востоку со скоростью в 10 010 частей, а сам корабль свежим ветром на всех парусах несётся к западу со скоростью в 10 таких частей, и матрос идёт по кораблю к востоку со скоростью в 1 часть. Тогда матрос будет истинно двигаться в неподвижном пространстве к востоку со скоростью в 10 001 часть, а относительно Земли — к западу со скоростью в 9 таких частей.



Истинное движение матроса

Вопросы

1. Вблизи поверхности Земли ускорительная тяжесть у всех тел одна и та же. Что из этого следует для их весов?
 - a. У всех тел одинаковый вес
 - b. Вес каждого тела пропорционален телу, его количеству материи
 - c. Вес зависит только от скорости тела
 - d. Тяжёлые тела ускоряются сильнее

2. К чему Ньютон относит ускорительную силу?
- a. К телу как наклонность целого
 - b. К центру как причину
 - c. К месту тела как способность, распространённую от центра
 - d. К наблюдателю, который её измеряет
3. Как лучше всего описать относительное время в поучении?
- a. Время, текущее равномерно само по себе
 - b. Чувственно воспринимаемая мера длительности посредством движения, как час или день
 - c. Длительность, какой она была бы без всякого движения
 - d. Время, измеряемое только по неподвижным звёздам
4. Тело покоится в некоторой части корабля под парусами. Если Земля действительно покоится, каково его абсолютное движение?
- a. Оно абсолютно покоится, как занимаемая им часть корабля
 - b. Оно движется со скоростью, какую корабль имеет относительно Земли
 - c. Оно движется со скоростью ветра
 - d. Его движение вообще нельзя определить

Ответы

1. **b)** Движущая сила получается от ускорительной силы, умноженной на количество материи; где ускорительная тяжесть одна и та же, вес пропорционален телу.

2. с) Ускорительную силу он относит к месту тела как способность или действенность, распространённую от центра по всем окружающим местам.

3. б) Относительное, кажущееся и обыденное время есть некая чувственно воспринимаемая и внешняя мера длительности посредством движения, как час, день, месяц, год.

4. б) Если Земля действительно покоится, тело, относительно покоящееся на корабле, будет истинно и абсолютно двигаться с той скоростью, какую корабль имеет относительно Земли.

Разобранные примеры

Вес там, где тяжесть вдвое меньше В области, где ускорительная тяжесть вдвое меньше, чем здесь, во сколько раз меньше весят тела вдвое и втрое меньшие в сравнении с большим телом здесь?

Вес всегда пропорционален произведению тела на ускорительную тяжесть.

Половина тяжести на половину тела: четверть, то есть вчетверо меньше.

Половина тяжести на треть тела: шестая часть, то есть вшестеро меньше.

Ответ: вчетверо меньше и вшестеро меньше

Матрос на движущейся Земле Часть Земли, где находится корабль, движется на восток со скоростью в 10 010 частей, корабль плывёт на запад со скоростью в 10 частей, а матрос идёт по кораблю на восток со скоростью в 1 часть. Найдите истинное движение матроса и его движение относительно Земли.

Относительно Земли корабль идёт на запад на 10, а матрос на восток на 1, так что матрос идёт на запад на $10 - 1 = 9$ частей.

В неподвижном пространстве матроса несут 10 010 частей Земли на восток за вычетом его 9 на запад относительно Земли.

$10\ 010 - 9 = 10\ 001$ часть на восток.

Ответ: истинно 10 001 часть на восток; относительно Земли 9 частей на запад

Задачи

1. Там, где ускорительная тяжесть вдвое меньше, тело вчетверо меньше тела здесь. Во сколько раз меньше оно весит?

Подсказка: Вес пропорционален телу, умноженному на ускорительную тяжесть.

Ответ: В восемь раз меньше: половина тяжести на четверть тела — одна восьмая.

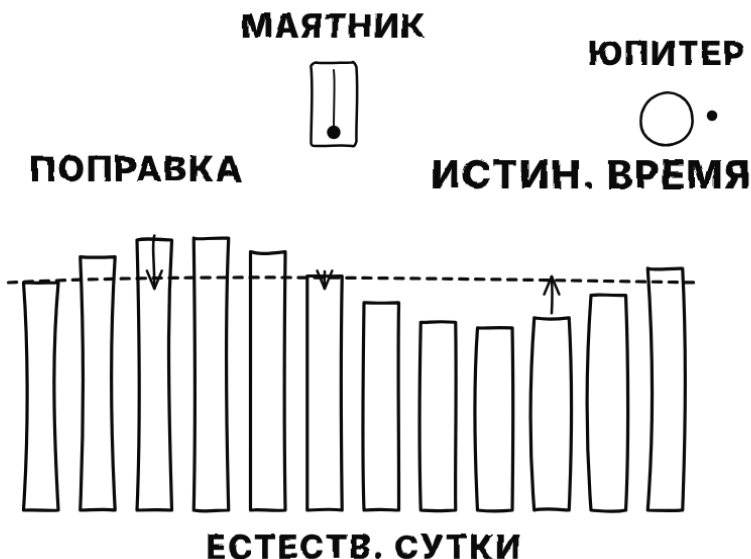
2. Пусть Земля по-прежнему движется на восток со скоростью в 10 010 частей, а корабль плывёт на запад со скоростью в 10, но матрос идёт на запад со скоростью в 1 часть. Каковы его истинное и относительное движения?

Подсказка: Сначала найдите его движение относительно Земли: движения корабля и его собственное складываются, когда направлены в одну сторону.

Ответ: Относительно Земли он идёт на запад на 11 частей; истинно он идёт на восток на $10\ 010 - 11 = 9\ 999$ частей.

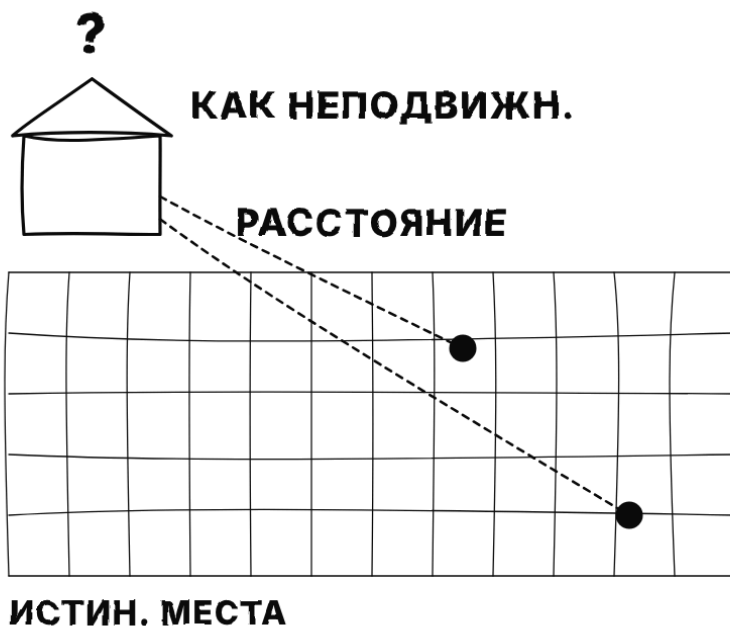
Истинные и относительные время, место и движение; вращающийся сосуд

Абсолютное время в астрономии отличается от относительного уравнением, или поправкой, обыденного времени. Ибо естественные сутки на самом деле неравны, хотя обычно считаются равными и служат мерой времени; астрономы исправляют это неравенство, чтобы точнее выводить небесные движения. Может быть, не существует такого равномерного движения, которым время могло бы измеряться точно. Все движения могут ускоряться и замедляться, но истинное, или равномерное, течение абсолютного времени никакому изменению не подвержено. Длительность, или продолжительность существования вещей, остаётся одна и та же, быстры ли движения, медленны или их нет вовсе; и потому её следует отличать от того, что есть лишь её чувственные меры и из чего мы выводим её посредством астрономического уравнения. Необходимость этого уравнения для определения времён явлений показывается как опытами с маятниковыми часами, так и затмениями спутников Юпитера.



Естественные сутки неравны

Как порядок частей времени неизменен, так неизменен и порядок частей пространства. Предположите, что эти части сдвинулись со своих мест, и они сдвинутся, если позволено так выразиться, сами из себя. Ибо времена и пространства суть как бы места и самих себя, и всех прочих вещей. Всё помещено во времени в отношении порядка следования и в пространстве в отношении порядка расположения. Места они суть по своей сущности или природе, и чтобы первичные места вещей были подвижны — нелепо. Это, следовательно, и есть абсолютные места, и перемещения из этих мест суть единственные абсолютные движения.



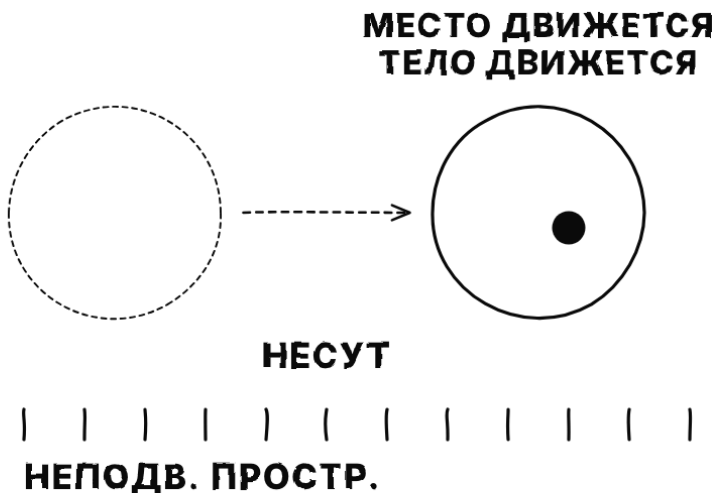
Места, отмеряемые от тела

Но так как части пространства невидимы и не различимы друг от друга нашими чувствами, то вместо них мы пользуемся их чувственными мерами. Ибо по положениям и расстояниям вещей от какого-либо тела, принимаемого за неподвижное, мы определяем все места, а затем по отношению к таким местам оцениваем все движения, рассматривая тела как переносимые из одних этих мест в другие. И так вместо абсолютных мест и движений мы пользуемся относительными, и в обыденных делах без всякого неудобства; но в философских исследованиях следует отвлекаться от наших чувств и рассматривать сами вещи, отличая их от того, что есть лишь их чувственные меры. Ибо может быть, что нет никакого тела, действительно покоящегося, к которому можно было бы относить места и движения других.

Но покой и движение, абсолютные и относительные, можно отличить друг от друга по их свойствам, причинам и действиям. Свойство покоя состоит в том, что тела, действительно покоящиеся, покоятся и относительно друг друга. И потому, хотя возможно, что в отдалённых областях неподвижных звёзд или, быть может, далеко за ними есть некое тело, абсолютно покоящееся, но невозможно узнать по взаимному положению тел в наших областях, сохраняет ли какое-либо из них то же положение относительно того отдалённого тела, — отсюда следует, что абсолютный покой нельзя определить по положению тел в наших областях.

Свойство движения состоит в том, что части, сохраняющие данное положение относительно своих целых, участвуют в движениях этих целых. Ибо все части вращающихся тел стремятся удалиться от оси движения, а напор тел, движущихся вперёд, складывается из совместного напора всех частей. Поэтому, если окружающие тела движутся, то тела, относительно покоящиеся внутри них, будут участвовать в их движении. По этой причине истинное и абсолютное движение тела нельзя определить по его перемещению относительно тех тел, которые лишь кажутся покоящимися; ибо внешние тела должны не только казаться покоящимися, но и действительно покоиться. Иначе все заключённые внутри тела, помимо своего перемещения относительно окружающих, участвуют и в их истинных движениях; и даже если бы этого перемещения не было, они не покоились бы действительно, а лишь казались бы покоящимися. Ибо окружающие тела относятся к окружённым так, как внешняя часть целого к внутренней или как скорлупа к

ядру; но если движется скорлупа, будет двигаться и ядро как часть целого, не удаляясь от скорлупы.

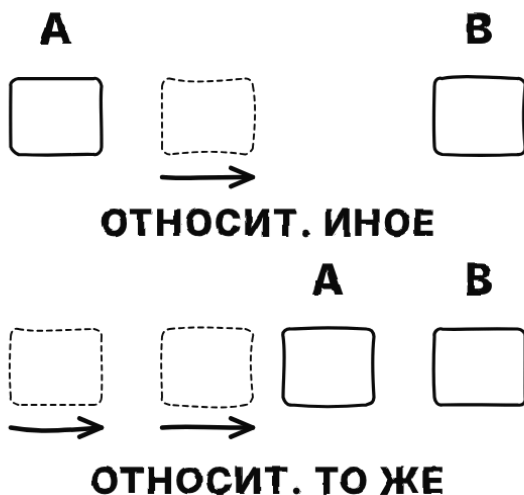


Движется скорлупа — движется и ядро

Свойство, близко родственное предыдущему, таково: если место движется, то всё, что в нём помещено, движется вместе с ним; и потому тело, которое движется из движущегося места, участвует и в движении своего места. Поэтому все движения из движущихся мест суть не что иное, как части полных и абсолютных движений; и всякое полное движение составляется из движения тела из его первого места, и движения этого места из его места, и так далее, пока не дойдём до некоторого неподвижного места, как в приведённом ранее примере с матросом. Поэтому полные и абсолютные движения можно

определить не иначе как по неподвижным местам; и по этой причине я выше относил абсолютные движения к неподвижным местам, а относительные — к подвижным. Неподвижны же лишь те места, которые от бесконечности до бесконечности все сохраняют одно и то же данное положение друг относительно друга; и потому они должны вечно оставаться неподвижными и тем составлять неподвижное пространство.

Причины, по которым истинные и относительные движения различаются одно от другого, суть силы, приложенные к телам для произведения движения. Истинное движение ни производится, ни изменяется иначе как силой, приложенной к самому движущемуся телу; относительное же движение может производиться и изменяться без всякой силы, приложенной к телу. Ибо достаточно лишь приложить какую-либо силу к другим телам, с которыми первое сравнивается, чтобы, уступив ей, они изменили то соотношение, в котором состоял относительный покой или относительное движение этого тела. С другой стороны, истинное движение всегда претерпевает некоторое изменение от всякой силы, приложенной к движущемуся телу; относительное же движение от таких сил не обязательно изменяется. Ибо если те же силы приложены и к тем другим телам, с которыми производится сравнение, так что относительное положение сохраняется, то сохранится и то условие, в котором состоит относительное движение. И потому всякое относительное движение может измениться, когда истинное остаётся неизменным, и относительное может сохраниться, когда истинное претерпевает изменение. По этим причинам истинное движение никак не состоит в таких соотношениях.

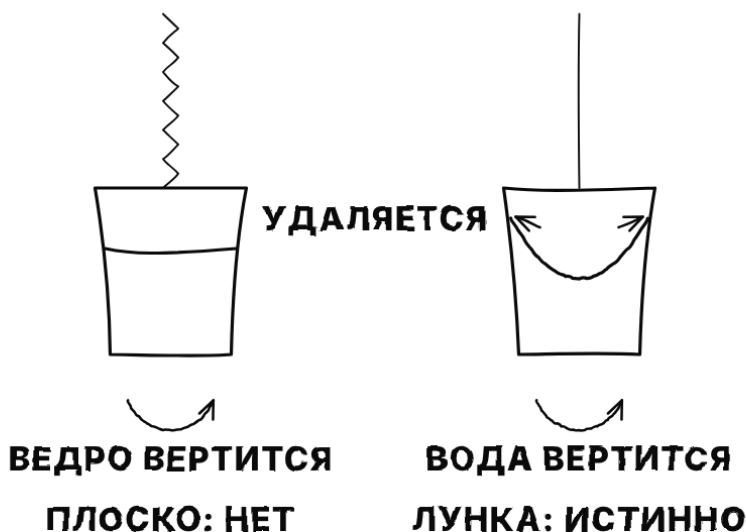


Толкните другое тело

Действия, которыми абсолютное движение отличается от относительного, суть силы удаления от оси кругового движения. Ибо при круговом движении, чисто относительном, таких сил нет; при истинном же и абсолютном круговом движении они больше или меньше, смотря по величине движения. Если сосуд, подвешенный на длинной верёвке, столько раз повернуть, что верёвка сильно закрутится, затем наполнить водой и удерживать в покое вместе с водой, а потом внезапным действием другой силы привести во вращение в обратную сторону, и пока верёвка раскручивается, сосуд некоторое время продолжает это движение, — то поверхность воды сначала будет плоской, как до начала движения сосуда. Но сосуд, постепенно сообщая своё движение воде, заставит её заметно вращаться и понемногу

удаляться от середины и подниматься к стенкам сосуда, принимая вогнутую форму, как я сам испытал; и чем быстрее становится движение, тем выше поднимается вода, пока наконец, совершая обороты за те же времена, что и сосуд, она не станет относительно него покоящейся. Этот подъём воды показывает её стремление удалиться от оси своего движения; и истинное и абсолютное круговое движение воды, которое здесь прямо противоположно относительному, обнаруживается и может быть измерено этим стремлением. Сначала, когда относительное движение воды в сосуде было наибольшим, оно не производило никакого стремления удалиться от оси; вода не проявляла наклонности к окружности и не поднималась к стенкам сосуда, а сохраняла плоскую поверхность, и потому её истинное круговое движение ещё не началось. Но затем, когда относительное движение воды уменьшилось, её подъём к стенкам сосуда доказал её стремление удалиться от оси; и это стремление показывало действительное круговое движение воды, непрерывно возрастающее, пока оно не достигло наибольшей величины, когда вода относительно сосуда покоилась. И потому это стремление не зависит от какого-либо перемещения воды относительно окружающих тел, и истинное круговое движение нельзя определить таким перемещением. У всякого вращающегося тела есть лишь одно действительное круговое движение, которому соответствует лишь одна сила стремления удалиться от оси движения как его собственное и надлежащее действие; относительных же движений у одного и того же тела бесчисленное множество, смотря по различным его соотношениям с внешними телами, и, как и прочие соотношения, они совершенно лишены всякого действительного действия, разве только поскольку, быть может, участвуют в том

единственном истинном движении. И потому в системе тех, кто полагает, что наши небеса, вращаясь ниже сферы неподвижных звёзд, увлекают с собой планеты, отдельные части этих небес и планеты, которые действительно покоятся относительно своих небес, всё же на самом деле движутся. Ибо они меняют положение друг относительно друга, чего никогда не бывает с телами, истинно покоящимися; и, будучи увлекаемы вместе со своими небесами, участвуют в их движениях и, как части вращающихся целых, стремятся удалиться от оси своих движений.



Вращающееся ведро

Вопросы

1. Почему астрономы применяют к обыденному времени уравнение, или поправку?
 - a. Потому что часы всегда спешат
 - b. Потому что естественные сутки на самом деле неравны, хотя считаются равными
 - c. Потому что абсолютное время ускоряется и замедляется
 - d. Потому что неподвижные звёзды движутся неравномерно
2. Почему абсолютный покой нельзя определить по положениям тел в наших областях?
 - a. Потому что всякое тело рядом с нами на самом деле покоится
 - b. Потому что истинно покоящееся тело может находиться далеко среди неподвижных звёзд или за ними, а взаимные положения наших тел не могут показать, сохраняют ли они то же положение относительно него
 - c. Потому что положения вообще нельзя измерить
 - d. Потому что покой и движение — одно и то же
3. Какое изменение может изменить относительное движение тела без всякой силы, приложенной к самому телу?
 - a. Никакое: относительному движению нужна сила на тело
 - b. Сила, приложенная к другим телам, с которыми его сравнивают
 - c. Изменение абсолютного времени

d. Его собственная *vis inertiae*

4. Когда во вращающемся сосуде вода поднимается по стенкам?

a. Сначала, когда её движение относительно сосуда наибольшее

b. Только когда сосуд удерживают в покое

c. По мере роста её собственного истинного кругового движения, сильнее всего — когда она покоится относительно сосуда

d. Никогда, поверхность всё время остаётся плоской

Ответы

1. **b)** Естественные сутки на самом деле неравны, хотя обычно считаются равными; астрономы исправляют это неравенство, чтобы точнее выводить небесные движения.

2. **b)** По взаимному положению тел в наших областях невозможно узнать, сохраняет ли какое-либо из них то же положение относительно некоего далёкого покоящегося тела; поэтому абсолютный покой по ним определить нельзя.

3. **b)** Достаточно приложить какую-либо силу к другим телам, с которыми его сравнивают: уступив ей, они изменяют то соотношение, в котором состоял его относительный покой или движение.

4. **c)** Сначала относительное движение было наибольшим, а поверхность оставалась плоской; затем подъём воды показал, что её действительное круговое движение растёт и наибольшее тогда, когда она покоится относительно сосуда.

Задачи

1. Объясните, почему в опыте с сосудом движение воды относительно сосуда не может быть её истинным круговым движением.

Подсказка: Сравните, когда относительное движение наибольшее и когда вода поднимается по стенкам.

Ответ: Сначала вода больше всего движется относительно сосуда, но её поверхность остаётся плоской и не выказывает стремления удалиться от оси. Позже, когда она покоится относительно сосуда, она поднимается выше всего. Действие следует за истинным круговым движением, а не за относительным, так что истинное движение не может состоять в соотношении с сосудом.

2. Тело неподвижно лежит внутри закрытого ящика, который движется. Почему отрывок говорит, что оно на самом деле не покоится?

Подсказка: Вспомните скорлупу и ядро.

Ответ: Части, сохраняющие своё положение в целом, участвуют в движении целого. Окружающий ящик относится к телу как скорлупа к ядру: если движется скорлупа, движется и ядро, не удаляясь от скорлупы, так что тело лишь кажется покоящимся.

3. Почему, согласно отрывку, истинное движение можно определить лишь по неподвижным местам?

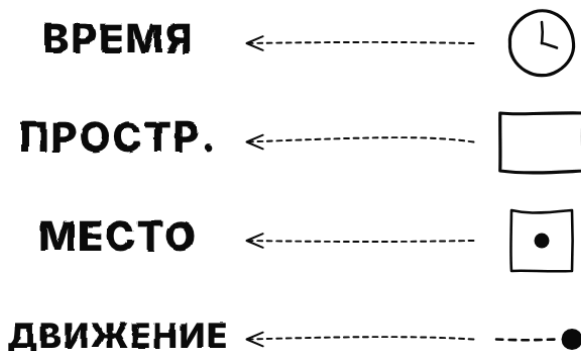
Подсказка: Спросите себя, из чего состоит движение из движущегося места.

Ответ: Движение из места, которое само движется, — лишь часть полного движения, которое включает и движение этого места, и его места, и так далее. Цепочка кончается лишь на неподвижном месте, так что полные и абсолютные движения можно определить лишь по неподвижным местам.

Меры и величины; два шара

Поэтому относительные величины суть не сами те величины, имена которых они носят, а лишь их чувственные меры, точные или неточные, которые обычно употребляются вместо самих измеряемых величин. И если значение слов должно определяться их употреблением, то под словами «время», «пространство», «место» и «движение» следует, собственно, понимать их меры; и выражение будет необычным и чисто математическим, если подразумеваются сами измеряемые величины. По этой причине насилуют Священное Писание те, кто толкует там эти слова как сами измеряемые величины. Не меньше оскверняют чистоту математических и философских истин и те, кто смешивает сами действительные величины с их соотношениями и обыденными мерами.

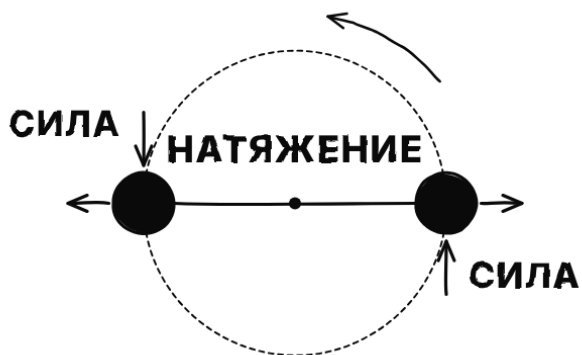
ВЕЛИЧИНЫ $\neq$ МЕРЫ



Величины и их меры

Действительно, весьма трудно найти и надёжно отличить истинные движения отдельных тел от кажущихся, потому что части того неподвижного пространства, в котором совершаются эти движения, никак не доступны наблюдению наших чувств. Однако дело не вовсе безнадёжно, ибо у нас есть некоторые доводы, чтобы руководствоваться ими, — отчасти из кажущихся движений, которые суть разности истинных движений, отчасти из сил, которые суть причины и действия истинных движений. Например, если бы два шара, удерживаемые на данном расстоянии друг от друга соединяющей их верёвкой, вращались около их общего центра тяжести, то по натяжению верёвки мы могли бы обнаружить стремление шаров удалиться от оси их движения и отсюда вычислить величину их круговых движений.

А затем, если бы одновременно к противоположным граням шаров были приложены какие-либо равные силы, чтобы увеличить или уменьшить их круговые движения, то по увеличению или уменьшению натяжения верёвки мы могли бы заключить об увеличении или уменьшении их движений. И отсюда нашлось бы, к каким граням следует приложить эти силы, чтобы движения шаров увеличились больше всего, то есть мы могли бы обнаружить их задние грани, или те, что при круговом движении следуют позади. А зная грани, следующие позади, и, следовательно, противоположные, идущие впереди, мы знали бы и направление их движений. И так мы могли бы найти и величину, и направление этого кругового движения даже в безмерной пустоте, где не было бы ничего внешнего и чувственно воспринимаемого, с чем можно было бы сравнивать шары. Если же в этом пространстве поместить какие-нибудь отдалённые тела, всегда сохраняющие данное положение друг относительно друга, как неподвижные звёзды в наших областях, то по относительному перемещению шаров среди этих тел мы, правда, не могли бы определить, принадлежит ли движение шарам или телам. Но если бы мы наблюдали верёвку и нашли, что её натяжение есть именно то натяжение, какого требуют движения шаров, мы могли бы заключить, что движение — у шаров, а тела покоятся; и тогда, наконец, по перемещению шаров среди тел мы нашли бы направление их движений. А как выводить истинные движения из их причин, действий и кажущихся разностей и, наоборот, как из движений, истинных или кажущихся, приходить к познанию их причин и действий, будет подробнее изложено в последующем сочинении. Ибо именно с этой целью я его и составил.



ПУСТОТА

Два шара на верёвке

НЕПОДВ. ЗВЁЗДЫ



ШАРЫ ВЕРТЯТСЯ

Шары среди звёзд

Вопросы

1. Что такое относительные величины, согласно отрывку?
 - a. Сами истинные величины
 - b. Чувственные меры, точные или нет, употребляемые вместо самих величин
 - c. Величины, существующие лишь на небесах
 - d. Величины, измеряемые без всякого прибора

2. Как в безмерной пустоте, где не с чем сравнивать, можно было бы найти круговое движение двух шаров, связанных верёвкой?
- a. Его вообще нельзя было бы найти
 - b. По натяжению верёвки, которое показывает стремление шаров удалиться от оси
 - c. По свету, который они отражают
 - d. По их тяжести к центру Земли
3. Если добавить далёкие тела вроде неподвижных звёзд, что позволило бы решить натяжение верёвки, чего не позволяет одно их относительное перемещение?
- a. Принадлежит ли движение шарам или далёким телам
 - b. Как далеко находятся далёкие тела
 - c. Насколько тяжелы шары
 - d. Порвётся ли верёвка

Ответы

1. **b)** Относительные величины суть не сами те величины, имена которых они носят, а их чувственные меры, точные или неточные, обычно употребляемые вместо них.
2. **b)** По натяжению верёвки обнаруживается стремление шаров удалиться от оси их движения, а отсюда вычисляется величина их кругового движения.
3. **a)** По одному относительному перемещению нельзя было бы сказать, принадлежит ли движение шарам или телам; но если натяжение верёвки таково, какого требуют движения шаров, движение — у шаров.

Задачи

1. Объясните, как равные силы, приложенные к противоположным граням двух шаров, выдали бы, в какую сторону они вращаются.

Подсказка: Спросите себя, что происходит с натяжением верёвки, когда силы ускоряют шары.

Ответ: Силы, приложенные к одним граням, увеличивают круговое движение и повышают натяжение верёвки; приложенные к противоположным — уменьшают его. Грани, к которым силы сильнее всего увеличивают движение, — задние, следующие позади; зная их, а значит и грани, идущие впереди, мы узнаём направление движения.

2. Почему, по Ньютону, ошибочно смешивать действительные величины с их обыденными мерами?

Подсказка: Подумайте, что в повседневном употреблении называют слова вроде «время» и «движение».

Ответ: В повседневном употреблении слова «время», «пространство», «место» и «движение» обозначают их чувственные меры, а не сами величины. Смешивать их — значит путать действительные величины с соотношениями и обыденными мерами, что, по словам Ньютона, оскверняет чистоту математических и философских истин.