

Когда та же задача была предложена мною в распространенной ленинградской газете, решения поступили крайне разнообразные. Одни доказывали, что разбиться должно непременно *ударяющее* яйцо; другие — что именно оно-то уцелеет. Доводы казались одинаково правдоподобными, и тем не менее оба утверждения в корне ошибочны. Установить рассуждением, которое из соударяющихся яиц должно разбиться, вообще невозможно, потому что между яйцами ударяющим и ударяемым различия не существует.

Нельзя ссылаться на то, что ударяющее яйцо движется, а ударяемое неподвижно. Неподвижно — по отношению к чему? Если к земному шару, то ведь известно, что планета наша сама перемещается среди звезд, совершая десяток разнообразных движений; все эти движения «ударяемое» яйцо разделяет так же, как и «ударяющее», и никто не скажет, которое из них движется среди звезд быстрее. Чтобы предсказать судьбу яиц по признаку движения и покоя, понадобилось бы перевероршить всю астрономию и определить движение каждого из соударяющихся яиц относительно неподвижных звезд. Да и это не помогло бы, потому что отдельные видимые звезды тоже движутся, и вся их совокупность, Млечный Путь, перемещается по отношению к иным звездным скоплениям.

Яичная задача, как видите, увлекла нас в бездны мироздания и все же не приблизилась к разрешению. Впрочем, нет, — приблизилась, если звездная экскурсия помогла нам понять ту важную истину, что движение тела без указания другого тела, к которому это движение относится, — попросту бессмыслица. Одинокое тело, само по себе взятое, двигаться не может; могут перемещаться только *два тела* — взаимно сближаться или взаимно удаляться. Оба соударяющихся яйца находятся в одинаковом состоянии движения: они взаимно сближаются, — вот все, что мы можем сказать об их движении. Результат столкновения не зависит от того, какое из них пожелаем мы считать неподвижным и какое — движущимся.

Триста лет назад впервые провозглашена была Галилеем относительность равномерного движения и покоя, их полная равнозначность. Этот «принцип относительности классической механики» не следует смешивать с «принципом относительности Эйнштейна», выдвинутым позднее и представляющим дальнейшее развитие первого принципа.

ПУТЕШЕСТВИЕ НА ДЕРЕВЯННОМ КОНЕ

Из сейчас сказанного следует, что состояние равномерного прямолинейного движения неотличимо от состояния неподвижности при условии обратного *равномерного* и прямолинейного движения окружающей обстановки. Сказать: «тело движется с постоянной скоростью» и «тело находится в покое, но все окружающее равномерно движется в обратную сторону» — значит утверждать одно и то же. Строго говоря, мы не должны говорить ни так, ни этак, а должны говорить, что тело и обстановка движутся одно относительно другой. Мысль эта еще и в наши дни усвоена далеко не всеми, кто имеет дело с механикой и физикой. А между тем она не чужда была уже автору «Дон Кихота», жившему три столетия назад и не читавшему Галилея. Ею проникнута одна из забавных сцен произведения Сервантеса — описание путешествия прославленного рыцаря и его оруженосца на деревянном коне.

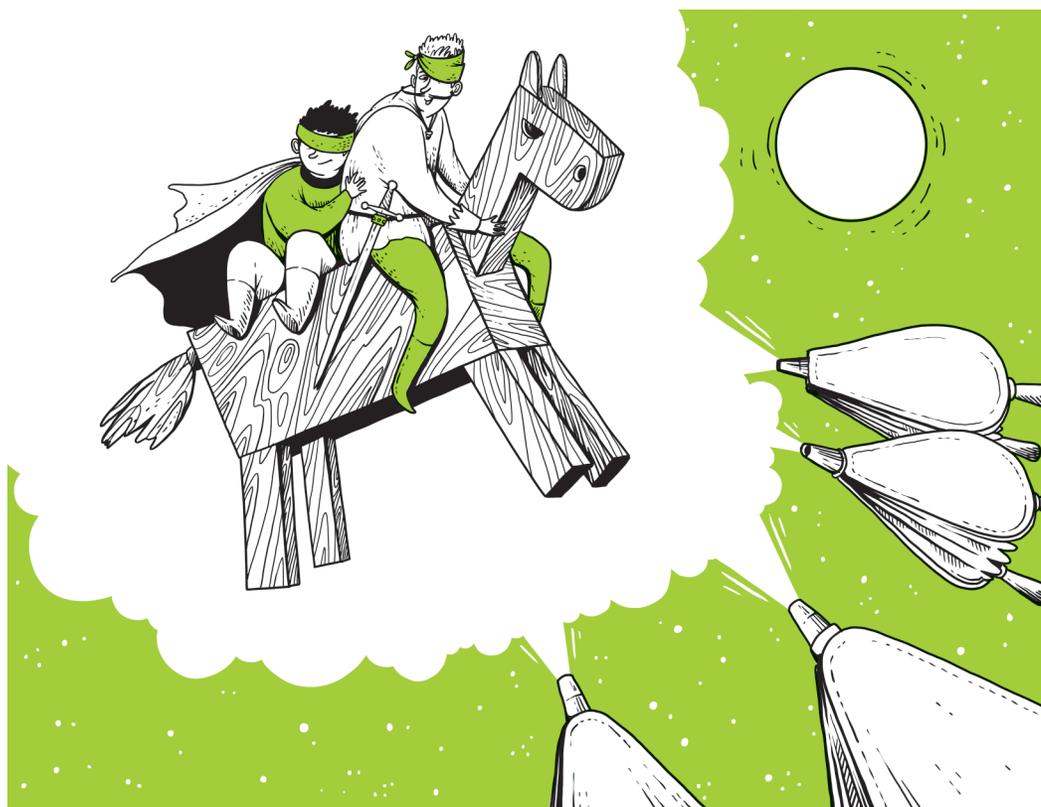


Рис. 2. Воображаемый полет на деревянном коне

— Садитесь на круп лошади, — объяснили Дон Кихоту. — Требуется лишь одно: повернуть втулку, вделанную у коня на шее, и он унесет вас по воздуху туда, где ожидает вас Маламбруно. Но чтобы высота не вызвала головокружения, надо ехать с завязанными глазами.

Обоим завязали глаза, и Дон Кихот дотронулся до втулки.

Окружающие стали уверять рыцаря, что он уже несется по воздуху «быстрее стрелы».

— Готов клясться, — заявил Дон Кихот оруженосцу, — что во всю жизнь мою не ездил я на коне с более спокойной поступью. Все идет, как должно идти, и ветер дует.

— Это верно, — сказал Санчо, — я чувствую такой свежий воздух, точно на меня дуют из тысячи мехов.

Так на самом деле и было, потому что на них дули из нескольких больших мехов.

Деревянный конь Сервантеса — прообраз многочисленных аттракционов, придуманных в наше время для развлечения публики на выставках и в парках. То и другое основано на полной невозможности отличить состояние покоя от равномерного движения.

ЗДРАВЫЙ СМЫСЛ И МЕХАНИКА

Многие привыкли противопоставлять покой движению, как небо — земле и огонь — воде. Это не мешает им, впрочем, устраиваться в вагоне на ночлег, нимало не заботясь о том, стоит ли поезд, или мчится. Но в теории те же люди зачастую убежденно оспаривают право считать по желанию мчащийся поезд неподвижным, а рельсы, землю под ними и всю окрестность — движущимися в противоположном направлении.

«Допускается ли такое толкование здравым смыслом машиниста? — спрашивает Эйнштейн, излагая эту точку зрения. — Машинист возразит, что он топит и смазывает не окрестность, а *паровоз*; следовательно, на паровозе должен сказаться и результат его работы, то есть движение».

Довод представляется на первый взгляд очень сильным, едва ли не решающим. Однако вообразите, что рельсовый путь проло-



Рис. 3. Поезд на экваторе

жен вдоль экватора и поезд мчится на запад, против вращения земного шара. Тогда окрестность будет бежать навстречу поезду, и топливо будет расходоваться лишь на то, чтобы мешать паровозу увлекаться назад, — вернее, чтобы помогать ему хоть немного отставать от движения окрестности на восток. Пожелай машинист удержать поезд совсем в покое (относительно солнца), он должен был бы топить и смазывать паровоз так, как нужно для скорости две тысячи километров в час¹.

Чтобы убедить тех, кто еще сомневается в законности взаимной замены «покоя» и «движения», приведу слова одного из немногих *противников* учения Эйнштейна, профессора Ленарда²; критикуя Эйнштейна, он не посягает, однако, на теорию относительности Галилея. Вот что он пишет:

Пока движение поезда остается вполне равномерным, нет никакой возможности определить, что именно находится в движении и что в покое: поезд или окрестность. Устройство материального мира таково, что всегда, во всякий данный момент исключает возможность абсолютного решения вопроса о наличии равномерного движения или покоя и оставляет место только для изучения равномерного движения тел *относительно* друг друга, так как участие наблюдателя в равномерном движении совершенно не отражается на наблюдаемых явлениях и их законах.

¹ Что, разумеется, нереально. Сегодня с такой скоростью летают сверхзвуковые самолеты.

² Филипп Ленард (1862–1947) — немецкий физик, лауреат Нобелевской премии по физике (1905).

ПОЕДИНОК НА КОРАБЛЕ

Можно представить себе такую обстановку, к которой иные, пожалуй, затруднятся практически применить принцип относительности. Вообразите, например, на палубе движущегося судна двух стрелков, направивших друг на друга свое оружие. Поставлены ли оба противника в строго одинаковые условия? Не вправе ли стрелок, стоящий спиной к носу корабля, жаловаться на то, что пущенная им пуля полетит медленнее, чем пуля противника?

Конечно, по отношению к поверхности моря пуля, пущенная против движения корабля, летит медленнее, чем на неподвижном судне, а пуля, направленная к носу, летит быстрее. Но это нисколько не нарушает условий поединка: пуля, направленная к корме, летит к мишени, которая движется ей навстречу, так что при равномерном движении судна недостаток скорости пули как раз восполняется встречной скоростью мишени: пуля же, направленная к носу, *догоняет свою мишень*, которая удаляется от пули со скоростью, равной избытку скорости пули. В конечном итоге обе пули *по отношению к своим мишеням* движутся совершенно так же, как и на корабле неподвижном.

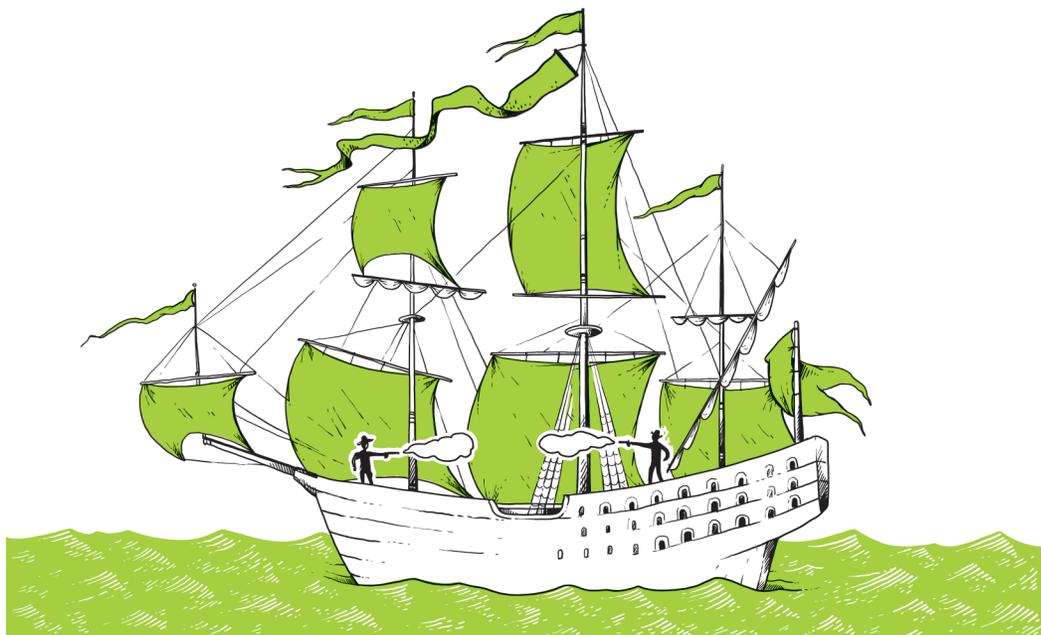


Рис. 4. Чья пуля раньше достигнет противника?

Не мешает прибавить, что все сказанное относится только к такому судну, которое идет по прямой линии и притом с постоянной скоростью.

Здесь уместно будет привести отрывок из той книги Галилея, где был впервые высказан классический принцип относительности (книга эта, к слову сказать, едва не привела ее автора на костер инквизиции).

Заклучите себя с приятелем в просторное помещение под палубой большого корабля. Если движение корабля будет равномерным, то вы ни по одному действию не в состоянии будете судить, движется ли корабль, или стоит на месте. Прыгая, вы будете покрывать по полу те же самые расстояния, как и на неподвижном корабле. Вы не сделаете вследствие быстрого движения корабля больших прыжков к корме, чем к носу корабля, — хотя пока вы находитесь в воздухе, пол под вами бежит к части, противоположной прыжку. Бросая вещь товарищу, вам не нужно с большею силою кидать ее от кормы к носу, чем наоборот... Мухи будут летать во все стороны, не держась преимущественно той стороны, которая ближе к корме...

Теперь понятна та форма, в которой обычно высказывается классический принцип относительности: «все движения, совершающиеся в какой-либо системе, не зависят от того, находится ли система в покое, или перемещается прямолинейно и равномерно»¹.

Закон говорит только о движениях, а не о физических явлениях вообще. Если вы вооружите наших воображаемых стрелков не револьверами, а, например, источниками лучей света, то поставите перед физиками задачу о движении луча света в перемещающейся системе. Задача эта разрешается учением Эйнштейна².

¹ Сегодня это утверждение (касающееся только законов классической механики) мы называем принципом относительности Галилея.

² Принцип относительности Эйнштейна гласит, что в инерциальных системах отсчета *все* физические процессы протекают одинаково, то есть применим и к явлениям электродинамики и оптики.

АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ТРУБА

На практике иной раз оказывается чрезвычайно полезным заменять движение покоем и покой движением, опираясь на классический принцип относительности. Чтобы изучить, как действует на самолет или автомобиль сопротивление воздуха, сквозь который они движутся, обычно исследуют «обращенное» явление: действие движущегося потока воздуха на покоящийся самолет. В лаборатории устанавливают широкую аэродинамическую трубу (рисунок 5), устраивают в ней ток воздуха и изучают его действие на неподвижно подвешенную модель аэроплана или автомобиля. Добытые результаты непосредственно прилагают к практике, хотя в действительности явление протекает как раз наоборот: воздух неподвижен, а аэроплан или автомобиль прорезают его с большой скоростью.

Читателю будет интересно узнать, что одна из величайших в мире аэродинамических труб устроена у нас в Москве, в Центральном аэрогидродинамическом институте. Она имеет восьмиугольную форму; длина ее 50 м, а поперечник в рабочей части — 6 м. Благодаря таким размерам в ней умещается не уменьшенная лишь модель, а корпус настоящего аэроплана с пропеллером или целый автомобиль в натуральную величину¹.

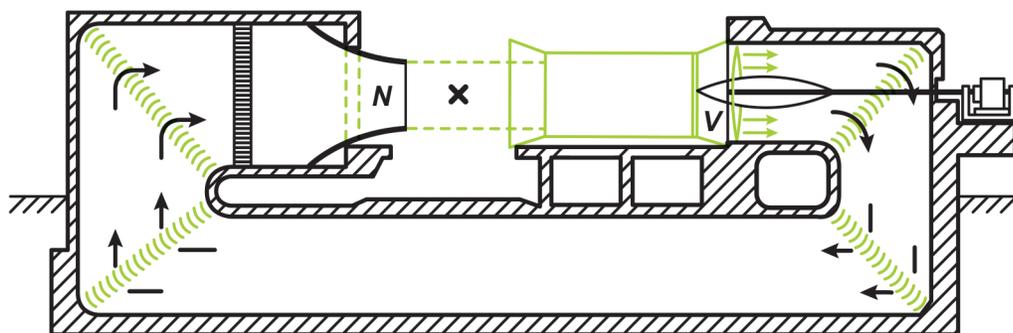


Рис. 5. Аэродинамическая труба в разрезе

Модель крыла или самолета подвешивается в рабочем пространстве (X). Воздух, засасываемый вентилятором V, движется в направлении, указанном стрелками, выбрасывается в рабочее пространство через суживающийся насадок N и затем опять засасывается в трубу.

¹ В 1939 году в ЦАГИ была запущена крупнейшая в Европе дозвуковая аэродинамическая труба Т-101 еще большего размера. На рисунке показано упрощенное изображение ранних установок. Теперь существуют и вертикальные

НА ПОЛНОМ ХОДУ ПОЕЗДА

Другой пример плодотворного применения классического принципа относительности возьмем из железнодорожной практики. Тендер¹ нередко пополняется водой на полном ходу поезда. Достигается это остроумным «обращением» одного общеизвестного механического явления, а именно: если в поток воды погрузить отвесно трубку, нижний конец которой загнут против течения (рисунок 6), то текущая вода проникает в эту так называемую «трубку Пито» и устанавливается в ней выше уровня потока на определенную величину H , зависящую от скорости течения. Инженеры «обратили» это явление: они двигают загнутую трубку в *стоячей* воде, — и вода в трубке поднимается выше уровня водоема. Движение заменяют покоем, а покой — движением.

Осуществляют это так, что на станции, где тендер паровоза должен, не останавливаясь, запастись водой, устраивают между рельсами длинный водоем в виде канавы. А с тендера спускают изогнутую трубу, обращенную отверстием в сторону движения. Вода, поднимаясь в трубе, подается в тендер быстро мчащегося поезда (рисунок 6).

Как высоко может быть поднята вода этим оригинальным способом? По законам той отрасли механики, которая носит название гидравлика и занимается движением жидкостей, вода в трубке Пито должна подняться на такую же высоту, на какую взлетело бы вверх тело, сброшенное отвесно со скоростью течения воды, а эта высота (H) определяется формулой:

$$H = \frac{V^2}{2g},$$

где V — скорость воды, а g — ускорение силы тяжести, равное $9,8 \text{ м/с}^2$. В нашем случае скорость воды по отношению к трубе равна скорости поезда; взяв скромную скорость 36 км/ч , имеем $V = 10 \text{ м/с}$: следовательно, высота поднятия воды

аэродинамические трубы, в которых воздух движется вверх. В таких трубах, например, тренируют спортсменов-парашютистов.

¹ Тендер — особого устройства вагон с запасом топлива и воды, прицепляемый к паровозу. Не используется в электропоездах.



Рис. 6. Применение трубки Пито для набора воды в тендер движущегося поезда

$$H = \frac{V^2}{2 \cdot 9,8} = \frac{100}{2 \cdot 9,8} = \text{около } 5 \text{ м.}$$

Ясно, что каковы бы ни были потери на трение, высота поднятия более чем достаточна для успешного наполнения тендера.

КОПЕРНИК И ПТОЛЕМЕЙ

У читателя, без сомнения, уже родился вопрос: как же надо с точки зрения классического принципа относительности разрешать спор Коперника и Птолемея о движении Земли? Хотя речь идет не о прямолинейном движении и, следовательно, вопрос попадает в область учений Эйнштейна, мы все же не оставим его здесь без рассмотрения.

Итак, — что вокруг чего обращается¹: Земля вокруг Солнца или Солнце вокруг Земли?

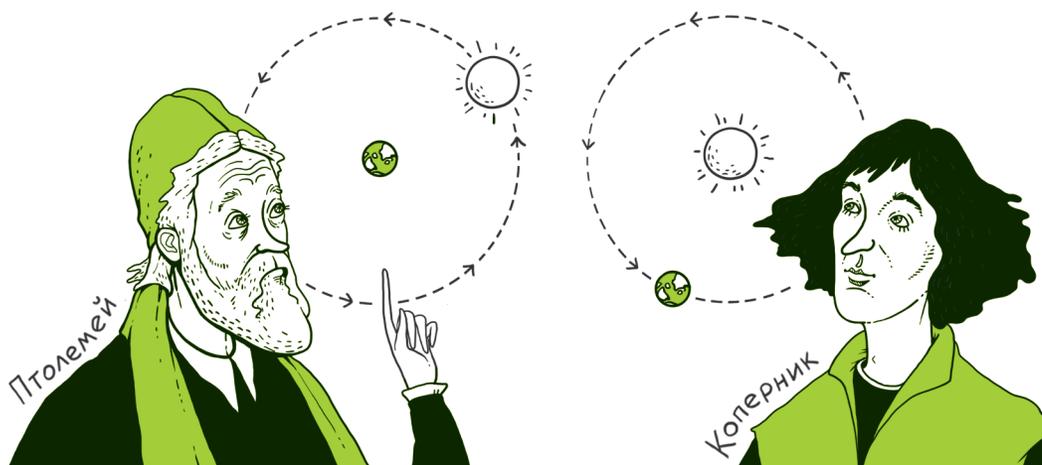


Рис. 7. Птолемей и Коперник

Такая постановка вопроса неправильна. Спрашивать, какое из двух указанных движений совершается «в действительности», бессмысленно: тело может двигаться лишь *по отношению к другому телу*; двигаться же безотносительно нельзя. Поэтому на поставленный вопрос надо ответить следующим образом: Земля и Солнце движутся одно относительно другого так, что при наблюдении с Земли Солнце кажется обращающимся вокруг Земли, а при наблюдении с Солнца — Земля кажется обращающейся вокруг Солнца.

¹ Следует в круговом движении различать *обращение* (вокруг оси, не проходящей через движущееся тело) от *вращения* (вокруг оси, проходящей через движущееся тело). Земля совершает *обращение* вокруг Солнца и *суточное вращение* вокруг оси. — *Примеч. автора.*

Послушаем выдающегося физика Эддингтона¹: «Простота планетных движений была затемнена Птолемеевой схемой и стала ясной в схеме Коперника. Но для обыкновенных земных явлений положение обратное: Птолемеева схема позволяет выявиться их естественной простоте. Земная, или Птолемеева, схема естественно приноровлена к земным явлениям, а солнечная, или Коперникова, приноровлена к явлениям солнечной системы; но мы не можем одну из них сделать пригодной для обеих систем, не вводя излишних усложнений».

Вы согласитесь с этим, если вспомните, что ни один астроном, не исключая и самого Коперника, не отказывался от «птолемеевского» выражения: «Солнце восходит» и не заменял его «коперниковским»: «Земля в своем вращательном движении подставляет лучам Солнца то место, в котором я нахожусь». Для определения времени дня воззрение Птолемея удобнее Коперникова, и мы без колебания становимся в этом случае на точку зрения древнего грека. Кто вздумал бы описывать солнечный восход в терминах учения Коперника, тот не сразу был бы понят даже самым убежденным коперниканцем.

Астрономы нашего времени, предвычисляя те или иные небесные явления, часто вовсе не думают о движении земного шара: им удобнее вести расчеты так, как будто все небо обращается вокруг неподвижной Земли².

Читатель не забыл, вероятно, — а может быть и в самом деле успел забыть, — что поводом к так далеко отвлекшей нас беседе послужила задача об ударяющихся яйцах. Вспомнив об этом, читатель поймет, что если бы по сломанной скорлупе можно было узнавать, какое из яиц находится в «истинном» движении и ка-

¹ Артур Стэнли Эддингтон (1882–1944) — английский астрофизик.

² Один из внимательных читателей поставил передо мной по этому поводу вопрос: «Какую картину движения увидит наблюдатель, рассматривающий нашу планетную систему извне, с какой-нибудь отдаленной звезды? Будет ли Земля для этого наблюдателя кружиться около Солнца, или наоборот?»

Отвечая на этот вопрос, надо прежде всего вспомнить, что абсолютно неподвижного наблюдательного пункта быть не может. Звезда, откуда смотрит наблюдатель, неподвижна относительно какого-либо другого тела. Если наблюдатель неподвижен относительно Солнца, то он увидит Землю, обращающуюся около Солнца. Если он неподвижен относительно Земли, он увидит Солнце, кружащееся около Земли. Если же он неподвижен относительно какого-либо третьего тела (например, другой звезды), то ему представятся движущиеся — по тому или иному пути — и Солнце и Земля. — *Примеч. автора.*

кое в «абсолютном» покое, то это было бы открытием мирового значения, настоящим переворотом в механике. Американский журнал, беспечно полагавший, что им установлено различие между соударяющимися яйцами, не подозревал, что он находился в преддверии вечной славы.

КАК НАДО ПОНИМАТЬ ЗАКОН ИНЕРЦИИ

Теперь, после того как мы так подробно побеседовали об относительности движения, необходимо сказать несколько слов о тех причинах, которые вызывают движение, — о силах. Прежде всего нужно указать на закон независимости действия сил; он формулируется так: *действие силы на тело не зависит от того, находится ли тело в покое, или движется по инерции, либо под влиянием других сил.*

Это — следствие так называемого второго из тех трех законов, которые положены Ньютоном в основу всей механики. Первый — закон инерции; третий — закон противодействия.

Второму закону Ньютона будет посвящена вся следующая глава, поэтому здесь мы скажем о нем всего лишь несколько слов. Смысл этого закона состоит в том, что изменение скорости, мерой которой служит ускорение, пропорционально действующей силе и имеет одинаковое с ней направление. Этот закон можно выразить формулой

$$F = m \cdot a,$$

где F — сила, действующая на тело; m — его масса и a — ускорение тела. Из трех величин, входящих в эту формулу, труднее всего понять, что такое масса. Нередко смешивают ее с весом, но в действительности масса ничего общего с весом не имеет. Массы тел можно сравнивать по тем ускорениям, которые они получают под влиянием одной и той же силы. Как видно из только что написанной формулы, масса при этом должна



Рис. 8. Исаак Ньютон

быть тем больше, чем меньше ускорение, приобретенное телом под влиянием этой силы.

Закон *инерции*, хотя и противоречит привычным представлениям, наиболее понятен из всех трех¹. И однако иные понимают его совершенно превратно. Именно, его формулируют нередко как свойство тел «сохранять свое *состояние*, пока внешняя причина не нарушит этого состояния». Такое распространительное толкование подменяет закон инерции законом причинности, утверждающим, что ничто не происходит (то есть никакое тело не изменяет своего состояния) без причины. Подлинный закон инерции относится не ко всякому физическому состоянию тел, а исключительно к состояниям *покоя и движения*. Он гласит:

Всякое тело сохраняет свое состояние покоя или прямолинейного и равномерного движения до тех пор, пока действие сил не выведет его из такого состояния.

Значит, каждый раз, когда тело:

- 1) приходит в движение;
- 2) меняет свое прямолинейное движение на непрямолинейное или вообще движется по кривой линии;
- 3) прекращает, замедляет или ускоряет свое движение, — мы должны заключить, что на тело действует *сила*.

Если же ни одной из этих перемен в движении не наблюдается, то на тело никакая сила не действует, как бы стремительно оно ни двигалось. Надо твердо помнить, что тело, движущееся равномерно и прямолинейно, не находится вовсе под действием сил (или же все действующие на него силы уравниваются). Оно было раньше, конечно, приведено в движение силой; но сейчас сила на него уже не действует. В этом существенное отличие современных механических представлений от взглядов мыслителей древности и Средних веков (до Галилея). Здесь обыденное мышление и мышление научное резко расходятся.

Сказанное объясняет нам, между прочим, почему *трение* о неподвижное тело рассматривается в механике как *сила*, хотя никакого движения оно вызвать не может. Трение есть сила потому,

¹ Противоречит он обыденным представлениям в той своей части, которая утверждает, что тело, движущееся равномерно и прямолинейно, не побуждается к этому никакой силой; привычный же взгляд тот, что раз тело движется, оно поддерживается в этом состоянии силой, а при отнятии силы движение должно прекратиться. — *Примеч. автора.*

что оно замедляет движение. Такие силы, которые сами не могут породить движения, а способны лишь замедлять уже возникшее движение (или уравновешивать другие силы), называются «пассивными»¹ в отличие от сил движущих, или «активных».

Подчеркнем же еще раз, что тела вовсе не *стремятся* оставаться в покое, они просто *остаются* в покое. Разница тут та же, что и между упорным домоседом, которого трудно извлечь из квартиры, и человеком, случайно находящимся дома, но готовым по малейшему поводу покинуть квартиру. Физические тела по природе своей вовсе не «домоседы»; напротив, они в высшей степени подвижны, так как достаточно приложить к свободному телу хотя бы самую ничтожную силу, — и оно приходит в движение. Выражение «*тело стремится* сохранять покой» еще и потому неуместно, что выведенное из состояния покоя тело само собой к нему не возвращается, а, напротив, сохраняет навсегда сообщенное ему движение (при отсутствии, конечно, сил, мешающих движению).

Немалая доля тех недоразумений, которые связаны с законом инерции, обусловлена этим неосторожным словом «стремится», вкравшимся в большинство учебников физики и механики.

Не меньше трудностей для правильного понимания представляет *третий* закон Ньютона, к рассмотрению которого мы сейчас и переходим.

ДЕЙСТВИЕ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЕ

Желая открыть дверь, вы тянете ее за ручку к себе. Мышца вашей руки, сокращаясь, сближает свои концы; она с одинаковой силой влечет дверь и ваше туловище одно к другому. В этом случае до наглядности ясно, что между вашим телом и дверью действуют две силы, приложенные одна к двери, другая — к вашему телу. То же самое, разумеется, происходит и в случае, когда дверь открывается не на вас, а от вас: силы расталкивают дверь и ваше тело.

То, что мы наблюдаем здесь для силы мускульной, верно для всякой силы вообще, независимо от того, какой она природы. Каждое усилие действует в две противоположные стороны; оно

¹ Или «реактивными».

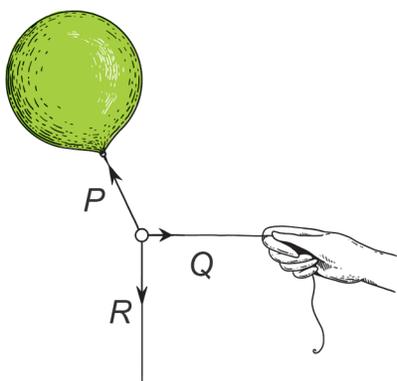


Рис. 9. Силы (P , Q , R), действующие на грузик детского воздушного шара. Где силы противодействующие?

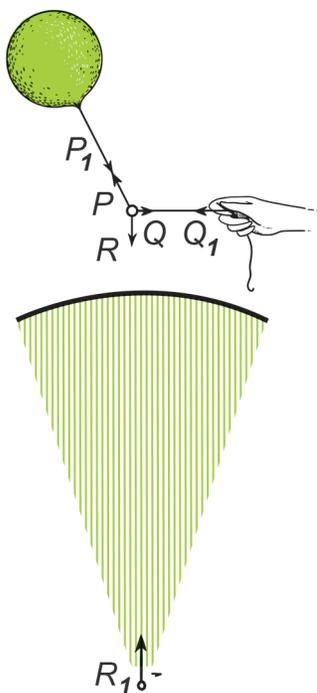


Рис. 10. Ответ на вопрос предыдущего рисунка: P_1 , Q_1 , R_1 — силы противодействующие

имеет, выражаясь образно, два конца (две силы): один приложен к телу, на которое, как мы говорим, *сила действует*; другой приложен к телу, которое мы называем *действующим*. Сказанное принято выражать в механике коротко — слишком коротко для ясного понимания — так: «действие равно противодействию».

Смысл закона противодействия состоит в том, что все силы природы — силы двойные: в каждом случае проявления действия силы вы должны представлять себе, что где-то в ином месте имеется другая сила, равная этой, но направленная в противоположную сторону. Эти две силы действуют непременно между двумя точками, стремясь их сблизить или растолкнуть.

Пусть вы рассматриваете (рисунок 9) силы P , Q и R , которые действуют на грузик, подвешенный к детскому воздушному шару. Тяга P шара, тяга Q веревочки и вес R грузика — силы как будто одиночные. Но это лишь отвлечение от действительности: на самом деле для каждой из трех сил имеется равная ей, но противоположная по направлению сила. А именно: сила, противоположная силе P , приложен к воздушному шару (рисунок 10, сила P_1); сила, противоположная силе Q , действует на руку (Q_1); сила, противоположная силе R , приложена в центре земного шара (сила R_1), потому что грузик не только притягивается Землей, но и сам ее притягивает.

Еще одно существенное замечание. Когда мы спрашиваем о величине

натяжения веревки, концы которой растягиваются силами в 1 Н ¹, мы спрашиваем в сущности о цене 10-копеечной почтовой марки. Ответ содержится в самом вопросе: веревка натянута с силой 1 Н . Сказать «веревка растягивается двумя силами в 1 Н » или «веревка подвержена натяжению в 1 Н » — значит выразить буквально одну и ту же мысль. Ведь другого натяжения в 1 Н быть не может, кроме такого, которое состоит из двух сил, направленных в противоположные стороны. Забывая об этом, впадают нередко в грубые ошибки, примеры которых мы сейчас приведем.

ЗАДАЧА О ДВУХ ЛОШАДЯХ

Две лошади растягивают динамометр² с силой 100 ньютонов каждая. Что показывает стрелка прибора?

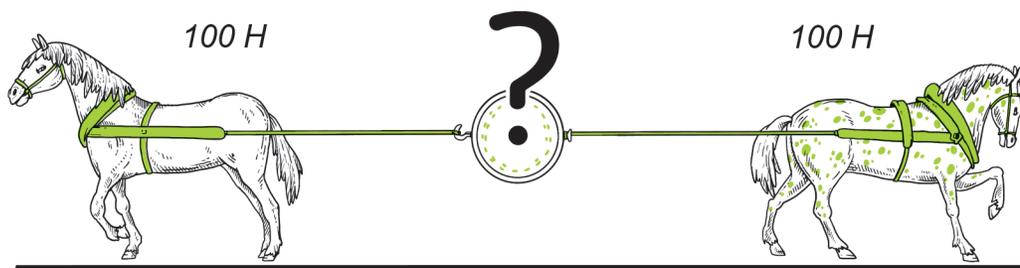


Рис. 11. Сколько показывает динамометр?

Решение

Многие отвечают: $100 + 100 = 200 \text{ Н}$. Ответ неверен. Силы по 100 Н , с какими тянут лошади, вызывают, как мы только что видели, натяжение не в 200 , а только в 100 Н .

¹ Единица измерения сил — ньютон (Н). Сила в один ньютон придаст телу массой в один килограмм ускорение метр в секунду за секунду: $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}/\text{с}^2$. Во времена написания этой книги советские физики использовали другую единицу измерения, ныне устаревшую, — килограмм-силу. Здесь и далее в этом издании килограмм-сила заменена на ньютон.

² Динамометр — прибор для измерения силы. В быту иногда используют динамометры, с помощью которых можно измерять вес подвешенного груза, — ручные пружинные весы (их иногда называют безмен). Для простоты на их шкалу нанесены не ньютоны, а килограммы, хотя фактически они показывают не массу предмета, а его вес.

Поэтому, между прочим, когда магдебургские полушария растягивались восемью лошадьми в одну сторону и восемью в противоположную, не следует думать, что они растягивались силой 16 лошадей¹. При отсутствии противодействующих восьми лошадей остальные восемь не произвели бы на полушария ровно никакого действия. Одну восьмерку лошадей можно было бы заменить просто стеной.

ЗАДАЧА О ДВУХ ЛОДКАХ

К пристани на озере приближаются две одинаковых лодки. Оба лодочника подтягиваются с помощью веревки. Противоположный конец веревки первой лодки привязан к тумбе на пристани; противоположный же конец веревки второй лодки находится в руках матроса на пристани, который также тянет веревку к себе. Все трое прилагают одинаковые усилия. Какая лодка причалит раньше?

Решение

На первый взгляд может показаться, что причалит раньше та лодка, которую тянут двое: двойная сила порождает большую

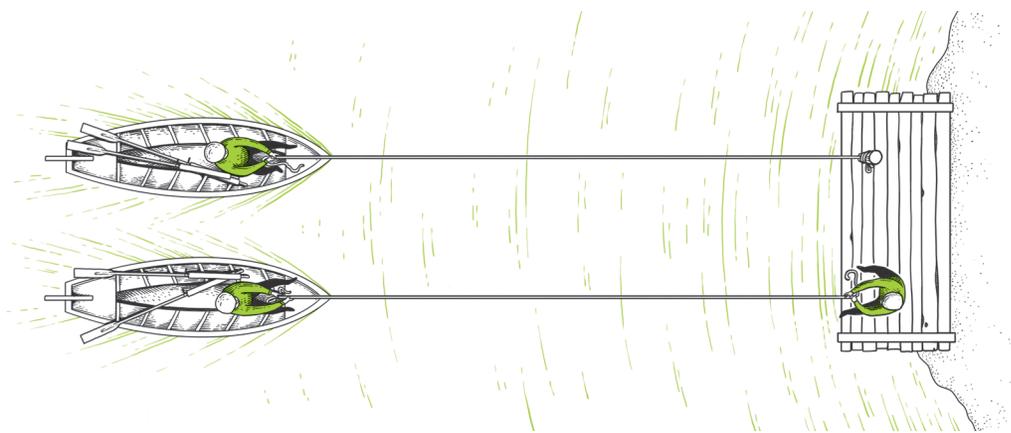


Рис. 12. Которая из лодок причалит раньше?

¹ Речь о знаменитом эксперименте немецкого физика Отто фон Герике. Из двух плотно прижатых друг к другу полушарий выкачивался воздух, и за счет внешнего давления сфера не распадалась, даже когда полушария тянули в разные стороны 16 лошадей.

скорость. Но верно ли, что на эту лодку действует *двойная сила*? Если и лодочник и матрос оба тянут к себе веревку, то *натяжение* веревки равно силе только *одного* из них, — иначе говоря, оно таково же, как и для первой лодки. Обе лодки подтягиваются с равной силой и причалят *одновременно*¹.

ЗАГАДКА ПЕШЕХОДА И ПАРОВОЗА

Бывают случаи, — на практике нередкие, — когда как действующая, так и противодействующая силы приложены в разных местах *одного и того же тела*. Мускульное напряжение или давление пара в цилиндре паровоза представляют примеры таких сил, называемых «внутренними». Особенность их та, что они могут изменять взаимное расположение частей тела, насколько это допускает связь частей, но никак не могут сообщить *всем* частям тела одно общее движение. При выстреле из ружья давление пороховых газов, направленное в противоположную сторону, сообщает ружью движение назад. Двигать вперед и пулю и ружье давление пороховых газов, как сила внутренняя, не может.

Но если внутренние силы неспособны перемещать *все* тело, то как же движется пешеход? Как движется паровоз? Сказать, что пешеходу помогает трение ног о землю, а паровозу трение колес о рельсы, — не значит еще разрешить загадку. Трение, конечно, совершенно необходимо для движения пешехода и паровоза: известно, что нельзя ходить по очень скользкому льду и что паровоз

¹ С таким моим решением не согласился один из наших известных физиков, высказавший в письме ко мне соображение, которое, возможно, возникло в уме и других читателей: «Чтобы лодки причалили, — писал он, — надо, чтобы люди *выбирали* веревки (то есть, перебирая руками, укорачивали натянутую часть веревки. — *Ред.*). А двое, конечно, за то время же выберут веревки больше, и потому правая лодка причалит скорее».

Этот простой довод, представляющийся на первый взгляд бесспорным, на самом деле ошибочен. Чтобы сообщить лодке двойную скорость (иначе лодка не пристанет вдвое скорее), каждый из двоих тянущих должен тянуть лодку с удвоенной силой. Только при таком условии удастся им выбирать вдвое больше веревки, чем одинокому (в противном случае — откуда возьмется у них для этого свободная веревка?). Но в условии задачи особо оговорено, что «все трое прилагают одинаковые усилия». Сколько бы двое ни старались, им не выбрать веревки больше, чем одинокому, раз сила ее натяжения одинакова. — *Примеч. автора.*