

§ 15. Третий ньютонов закон механики

Третий закон динамики Ньютона устанавливает, что при всех изменениях движения, вызываемых действием сил, а также и при статическом проявлении сил всегда имеет место в з а и м о д е й с т в и е двух или более тел.

Ньютон так сформулировал третий закон:

Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, другими словами — действия двух тел друг на друга всегда равны и направлены в противоположные стороны.

Содержание этого закона он поясняет следующими словами: «Если кто нажимает пальцем на камень, то и палец его также нажимается камнем. Если лошадь тащит камень, привязанный к канату, то и, обратно, она с равным усилием оттягивается к камню, ибо натянутый канат своей упругостью производит одинаковое усилие на лошадь в сторону камня и на камень в сторону лошади...

Если какое-нибудь тело, ударившись о другое тело, изменяет его количество движения на сколько-нибудь, то оно само претерпит в своем собственном количестве движения то же самое изменение, но обратно направленное, ибо давления этих тел друг на друга постоянно равны».

Тела действуют друг на друга всегда взаимно; так, Земля притягивает камень с силой его веса, с той же силой и камень действует на Землю. Мы говорим: «камень падает на Землю»; в действительности имеет место встречное движение, но в согласии со вторым законом ускорение Земли несоизмеримо мало: оно во столько же раз меньше ускорения, испытываемого камнем, во сколько раз масса камня меньше массы Земли.

Впадая в ошибку, иногда рассуждают так: если действующая сила всегда вызывает равную по величине, но противоположно направленную силу противодействия, то результирующая сила всегда как будто равна нулю; как же в таком случае под действием силы может произойти изменение движения? Что надо иметь в виду, чтобы не впасть в это противоречие? Только то, что действие есть сила, приложенная к о д н о м у из взаимодействующих тел, а противодействие — сила, приложенная к д р у г о м у телу, и поэтому каждое из тел находится под действием одной силы, которая и вызывает его движение.

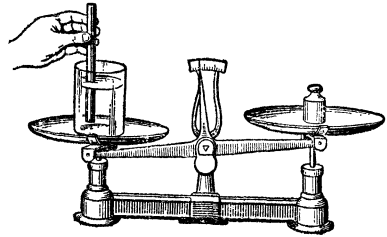


Рис. 18. К телу, погруженному в жидкость, со стороны жидкости приложена выталкивательная сила; противодействие сказывается как бы в увеличении веса жидкости.

Поскольку действие и противодействие всегда направлены в противоположные стороны, очевидно, что два тела вследствие одного только взаимодействия друг с другом не могут прийти в движение оба в одном и том же направлении. Если имеется ускоренное движение совокупности двух каких-либо взаимодействующих друг с другом тел (например, лошади и повозки), то сила, сообщающая этим телам ускорение, есть всегда некоторая внешняя сила, приложенная одновременно к обоим этим телам и порождаемая взаимодействием одного из этих тел или обоих с некоторым третьим телом, относительно которого рассматриваемые тела испытывают ускорение. Так, когда лошадь тянет повозку, когда паровоз движет вагоны, когда один из двух людей, преодолевая сопротивление другого, тащит его за собой,— движущей силой является взаимодействие лошади или человека с почвой, взаимодействие колес паровоза с рельсами (рис. 19), вообще — противодействие опоры (важна горизонтальная составляющая противодействия).

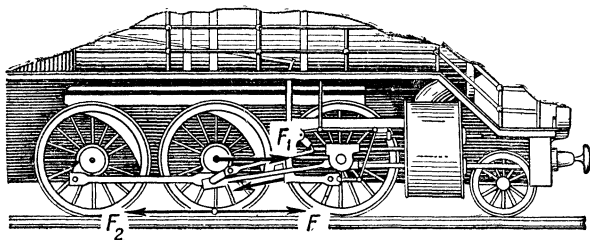


Рис. 19. Трение направлено всегда противоположно относительной скорости скольжения. Пара сил F_1 и F_2 вращает ведущее колесо паровоза и стремится побудить его к скольжению по рельсу. Поэтому сила трения скольжения f , приложенная к бандажу колеса, направлена в сторону движения; она уравнивает одну из сил вращающей пары — силу f_2 . Другая сила пары ($f_1 = f$) движет ось. Трение катания тормозит движение.

Во всех этих случаях имеются два вида взаимодействия с опорой: во-первых, противодействие опоры, во-вторых, трение.

Чтобы противодействие опоры, хотя бы в некоторой своей части, явилось движущей или затормаживающей силой, оно должно быть направлено под острым, а не под прямым углом к поверхности опоры; в упомянутых случаях движения лошади и повозки, движения поезда и т. д. вертикальная составляющая противодействия уравнивается весом; что же касается горизонтальной составляющей противодействия, то она может существовать, лишь поскольку имеется трение¹⁾.

¹⁾ Поэтому горизонтальную составляющую противодействия опоры часто называют *ведущим* трением в отличие от *тормозящего* трения.

Если трения нет, то противодействие всегда направлено нормально к поверхности опоры, и поэтому оно не способно ни вызвать, ни затормозить движение тела в направлении, параллельном этой поверхности. На идеально гладкой поверхности человек не в состоянии был бы сделать ни шагу; при гололедице, когда трение мало, лошадь не в состоянии сдвинуть повозку; если бы не было трения между ведущими колесами паровоза и рельсами, паровоз не в состоянии был бы сдвинуть поезд с места.

Чтобы привести себя в движение, необходимо иметь опору, от которой можно было бы оттолкнуться. Так, стоя на плоту, мы приводим плот в движение, отталкиваясь шестом от берега или от дна реки. Всякого рода сопротивление движению может быть использовано как более или менее надежная опора для подобного рода отталкивания. Вода оказывает довольно значительное сопротивление движению погруженных в нее тел, поэтому мы имеем возможность привести лодку в движение, погружая весла в воду и продвигая их в воде в направлении, противоположном тому, куда мы хотим направить лодку. Воздух также оказывает некоторое сопротивление движению, только поэтому и возможен полет птиц и самолетов.

По третьему закону Ньютона действие не может существовать без противодействия, поэтому ни одна машина не способна сама по себе развить силу, приводящую ее в движение; необходимо участие еще по крайней мере одного (внешнего по отношению к машине) тела, противодействие которого приведет машину в движение¹⁾.

Одновременное возникновение этих двух противоположно направленных сил означает согласно второму закону, что оба взаимодействующие тела испытывают равные, но противоположно направленные изменения количества движения. Так, когда лодка продвигается вперед, то под давлением весел вода движется назад. Поезд, трогаящийся с места, дает в обратном направлении толчок рельсам, полотну железной дороги и вместе с ними всему земному шару; понятно, что благодаря большой массе Земли ускорение, приобретаемое ею, ничтожно мало в сравнении с ускорением, которое от этого взаимодействия получает поезд.

Для правильного понимания третьего закона как широкого принципа физики важно обратить внимание на то, что в приведенной выше ньютоновой формулировке этого закона нет указания, направлены ли действие и противодействие по одной прямой; утверждается только, что они направлены в противоположные стороны, т. е. что они антипараллельны.

Третий закон применяют двояко: 1) в качестве закона, определяющего *непосредственное взаимодействие* тел, рассматриваемых как материальные точки, и 2) в качестве закона, определяющего

¹⁾ В случае ракетного двигателя движущей силой является реактивное давление на двигатель, развиваемое выбрасываемыми газами.

результативное взаимодействие тел, осуществляющееся посредством ряда промежуточных тел или среды.

При непосредственном взаимодействии тел, рассматриваемых как материальные точки, действие и противодействие почти всегда направлены по одной прямой, конечно, в разные стороны. Важным исключением является взаимодействие магнитов с токонесущими проводниками, когда действие и противодействие (т. е. действие элемента тока на магнитный полюс и магнитного полюса на ток) по величине равны и направлены в разные стороны, но не по одной прямой, а по двум параллельным прямым.

Что касается результирующего взаимодействия тел, то из-за наличия промежуточных материальных звеньев действие и противодействие направлены, вообще говоря, не по одной прямой, а только антипараллельно.

Если же в передаче сил участвуют массивные тела, служащие «точками опоры», то результирующее действие и противодействие в такой, уже не изолированной, системе могут быть не одинаковы по величине и направлены друг по отношению к другу под произвольным углом. Так, при использовании блоков и рычагов сила, которую мы прилагаем, чтобы поднять груз, и сила противодействия тяжести груза оказываются направленными не по одной прямой и благодаря действию точек опоры могут составлять любой угол; например, они могут быть ориентированы в одну сторону по двум параллельным прямым, а для неравноплечих рычагов они, кроме того, оказываются и численно разными. Ньютон в заключительном поучении первого раздела своих «Математических начал натуральной философии» отмечает, что в механизмах и машинах противоположная направленность результирующего действия и противодействия для начального и конечного звеньев обнаруживается не в геометрическом направлении этих сил, а в прямо противоположном характере их проявления. Действительно, эффекты, производимые действием и противодействием, всегда противоположны динамически или же энергетически: эти силы или вызывают противоположно направленное движение, или же при совместном движении взаимодействующих тел одна из этих сил производит работу, а другая потребляет работу. Следствием этого, как мы увидим, является общий принцип, определяющий равновесие из условия, что сумма произведенных малых возможных перемещений на спроектированные на них векторы действия и противодействия равна нулю (§ 24).

§ 16. Статическое и динамическое проявления сил

В теоретической механике обычно принимают схематизированное представление о силах и о телах, находящихся под действием сил, а именно, считают, что сила приложена или к материальной точке, или к абсолютно твердому телу (под абсолютно твердым телом пони-