

*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-

мают тело, совершенно несжимаемое и совершенно неизменяемое по форме). При такого рода упрощении единственным проявлением силы является ее динамическое действие, т. е. сообщаемое ею ускорение. Если какое-либо тело не испытывает ускорения, то отсюда заключают, что на это тело не действует сила.

С более широкой физической точки зрения это упрощение не всегда является уместным. Какой-либо груз, лежащий на платформе, находится под действием двух уравновешивающихся на нем сил: силы веса и равного, но обратно направленного противодействия опоры. Вещество груза с ж а т о этими силами, и состояние его отлично от того, которое имелось бы, если бы на груз не действовали никакие силы. Чтобы применить выводы теоретической механики к исследованию существующих внутри тела давлений или натяжений, возникающих в результате уравнивания на этом теле двух равных, но противоположно направленных сил, надо рассматривать тело как совокупность материальных точек, а для этого необходимо сделать особые гипотезы о строении тела.

Имея в виду только одни абсолютно твердые тела и системы материальных точек, можно придерживаться представления о силе как о произведении массы на ускорение (без учета статического действия силы); однако это представление вносит в механику только чисто математические упрощения; с точки зрения физики им следует пользоваться с некоторой осторожностью.

По ньютонову пониманию, сила может проявляться двояко: *динамически*, сообщая телу ускорение, и *статически*, побуждая тело оказывать давление на другие тела, препятствующие движению рассматриваемого тела. Чтобы пояснить отличие этого понимания силы от того, которое учитывает только динамическое действие, мы рассмотрим с обеих точек зрения несколько простых примеров движений.

Некоторый груз положен на платформу, которую удерживают канатом (рис. 20). К грузу приложена сила его веса  $P$ . Когда платформа неподвижна, а также и тогда, когда платформу опускают с постоянной скоростью (без ускорения), вся приложенная к грузу сила веса проявляется статически в давлении, которое груз оказывает на платформу (на этом рисунке, как и на остальных в данном параграфе, извилистая стрелка изображает статическое проявление силы).

Когда канат отпускают так, что платформа падает ускоренно, то сила веса частью проявляется динамически, сообщая грузу ускорение  $j$ , остальная ее часть проявляется в статическом давлении груза на платформу:  $F_c = P - mj$ . Следовательно, в этом случае груз давит на платформу с меньшей силой, чем когда груз опускают равномерно. С точки зрения наблюдателя, удерживающего канат, груз, опускаемый с ускорением, тем более «теряет в весе», чем с бóльшим ускорением он падает. Если груз падает вместе с плат-

формой «свободно» (т. е. имеет полное ускорение  $g$ , которое способна сообщить телу сила тяжести, целиком проявляющаяся динамически), то груз не будет оказывать никакого давления на платформу и канат совершенно не будет натянут.

Рассмотрим тот же пример «несвободного» падения груза иначе. Будем рассуждать так. Сила веса сообщает грузу ускорение  $g$ , направленное в н и з; когда канат натянут с силой полной тяжести груза, то давление платформы на груз сообщает грузу ускорение  $g$ , направленное в в е р х; геометрическая сумма ускорений, полу-

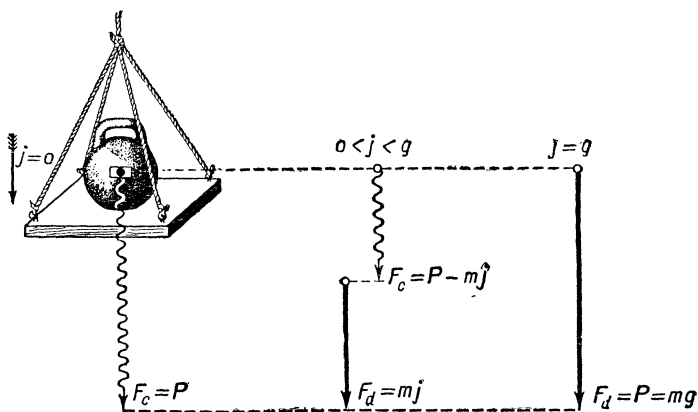


Рис. 20. Статическое ( $F_c$ ) и динамическое ( $F_d$ ) проявление веса («потеря веса» при падении с ускорением).

чаемых грузом, равна нулю; следовательно, груз будет неподвижен. Если груз падает с ускорением  $j$  вместо  $g$ , то это означает, что давлением платформы ему было сообщено ускорение вверх ( $g - j$ ) и, следовательно, натяжение каната равно  $P - mj$ . Груз будет падать с ускорением  $g$ , когда платформа не оказывает на него давления, т. е. когда канат не натянут.

В пределах обычных задач механики обе точки зрения математически равноправны.

При несвободном падении груза статическое проявление веса, т. е. давление груза на платформу, вызывает, по третьему закону, противодействие (реакцию) платформы. Когда груз неподвижен, реакция уравнивает вес. Когда груз падает с некоторым ускорением, реакция платформы уравнивает ту часть веса груза, которая проявляется статически; оставшая часть веса (равная как раз равнодействующей приложенных к телу сил) остается неуравновешенной и сообщает грузу ускорение.

Представим себе, что на совершенно гладкую наклонную плоскость положено некоторое тело. Геометрическая составляющая

веса, перпендикулярная к наклонной плоскости, проявляется статически в давлении, которое тело будет оказывать на плоскость; другая составляющая веса, параллельная направлению плоскости, проявляется динамически: она сообщает телу ускорение (рис. 21). Статическое проявление силы — это геометрическая составляющая

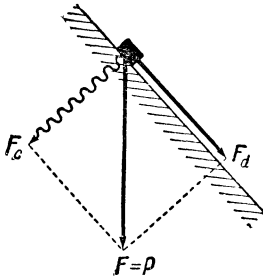


Рис. 21. Статическая и динамическая составляющие силы  $F$ .

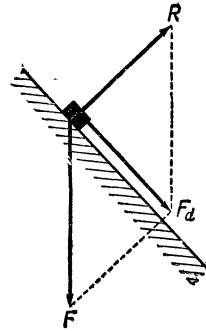


Рис. 22. Движущая сила  $F_d$  есть равнодействующая приложенных к телу сил: силы  $F$  и реакции опоры  $R$ .

силы  $F$ , приложенной к телу, но вместе с тем это сила, развиваемая телом и приложенная к опоре; динамическая составляющая приложена только к рассматриваемому телу. Статическое проявление силы вызывает равную по величине, но противоположную по направлению реакцию опоры. Тело будет двигаться под действием равнодействующей двух приложенных к нему сил: веса и реакции (рис. 22), но эта равнодействующая и есть та сила, которую мы обозначили как динамическое проявление тяжести рассматриваемого тела.

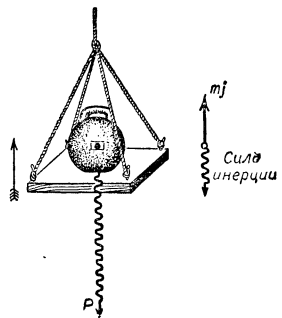


Рис. 23. «Увеличение веса» при поднятии с ускорением происходит за счет развиваемой телом силы инерции.

## § 17. Силы инерции. Центробежная сила

Чаще всего силы инерции проявляются статически в давлении, которое какое-либо тело, развивающее силу инерции, оказывает на другое тело, повинное в изменении состояния движения первого тела. Груз, ускоренно поднимаемый вверх, оказывает на платформу вследствие силы инерции дополнительное давление (рис. 23). Наблюдателю, тянущему канат, кажется, что груз тем более «увеличивается в весе», чем с большим ускорением его поднимают.