Если тело находится в покое относительно выбранной системы отсчёта, то говорят, что это тело находится в равновесии. Здания, мосты, балки вместе с опорами, части машин, книга на столе и многие другие тела покоятся, несмотря на то что к ним со стороны других тел приложены силы. Задача изучения условий равновесия тел имеет большое практическое значение для машиностроения, строительного дела, приборостроения и других областей техники. Все реальные тела под влиянием приложенных к ним сил изменяют свою форму и размеры, или, как говорят, деформируются.

Во многих случаях, которые встречаются на практике, деформации тел при их равновесии незначительны. В этих случаях деформациями можно пренебречь и вести расчёт, считая тело абсолютно твёрдым.

Для краткости абсолютно твёрдое тело будем называть твёрдым телом или просто телом. Изучив условия равновесия твёрдого тела, мы найдём условия равновесия реальных тел в тех случаях, когда их деформации можно не учитывать.

Раздел механики, в котором изучаются условия равновесия абсолютно твёрдых тел, называется статикой.

В статике учитываются размеры и форма тел, в этом случае существенным является не только значение сил, но и положение точек их приложения.

Выясним вначале с помощью законов Ньютона, при каком условии любое тело будет находиться в равновесии. С этой целью разобьём мысленно всё тело на большое число малых элементов, каждый из которых можно рассматривать как материальную точку. Как обычно, назовём силы, действующие на тело со стороны других тел, внешними, а силы, с которыми взаимодействуют элементы самого тела, внутренними (рис. 7.1). Так, сила - это сила, действующая на элемент 1 со стороны элемента 2. Сила же 1 действует на элемент 2 со стороны элемента 1. Это внутренние силы; к ним относятся также силы и. Очевидно, что

геометрическая сумма внутренних сил равна нулю, так как со­ гласно третьему закону Ньютона.

На каждый элемент в общем случае может действовать несколько внешних сил. Под будем понимать все внешние силы, приложенные соответственно к элементам. Точно так же через обозначим геометрическую сумму внутренних сил, приложенных к элементам соответственно (эти силы не показаны на рисунке).

Если тело находится в покое, то ускорение каждого элемента равно нулю. Поэтому согласно второму закону Ньютона будет равна нулю и геометрическая сумма всех сил, действующих на любой элемент. Следовательно, можно записать.

Каждое из этих трёх уравнений выражает условие равновесия элемента твёрдого тела.

Первое условие равновесия твёрдого тела. Выясним, каким условиям должны удовлетворять внешние силы, приложенные к твёрдому телу, чтобы оно находилось в равновесии. Для этого сложим уравнения.

В первых скобках этого равенства записана векторная сумма всех внешних сил, приложенных к телу, а во вторых - векторная сумма всех внутренних сил, действующих на элементы этого тела. Но, как известно, векторная сумма всех внутренних сил системы равна нулю, так как согласно третьему закону Ньютона любой внутренней силе соответствует сила, равная ей по модулю и противоположная по направлению. Поэтому в левой части последнего равенства останется только геометрическая сумма внешних сил, приложенных к телу.

В случае абсолютно твёрдого тела условие (7.2} называют первым условием его равновесия.

Оно является необходимым, но не является достаточным. Итак, если твёрдое тело находится в равновесии, то геометрическая сумма внешних сил, приложенных к нему, равна нулю.

Если сумма внешних сил равна нулю, то равна нулю и сумма проекций этих сил на оси координат. В частности, для проекций внешних сил на ось можно записать.

Такие же уравнения можно записать и для проекций сил на оси и.

Второе условие равновесия твёрдого тела. Убедимся, что условие (7.2) является необходимым, но недостаточным для равновесия твёрдого тела. Приложим к доске, лежащей на столе, в различных ·очках две равные по модулю и противоположно направленные силы так, как показано на рисунке 7.2. Сумма этих сил равна нулю. Но доска тем не менее будет поворачиваться. Точно так же две одинаковые по модулю и противоположно направленные силы поворачивают руль велосипеда или автомобиля (рис. 7.3).

Какое же ещё условие для внешних сил, кроме равенства нулю их суммы, должно выполняться, чтобы твёрдое тело находилось в равновесии? Воспользуемся теоремой об изменении кинетической энергии.

Найдём, например, условие равновесия стержня, шарнирно закреплённого па горизонтальной оси в точке (рис. 7.4). Это простое устройство, как вам известно из курса физики основной школы, представляет собой рычаг первого рода.

Пусть к рычагу приложены перпендикулярно стержню силы.

Кроме сил на рычаг действует направленная вертикально вверх сила нормальной реакции со стороны оси рычага. При равновесии рычага сумма всех трёх сил равна нулю.

Вычислим работу, которую совершают внешние силы при повороте рычага на очень малый угол а. Точки приложения сил и пройдут пути дуги при малых углах а можно считать прямолинейными отрезками). Работа силы положительна, потому что точка перемещается по направлению действия силы, а работа силы отрицательна, поскольку точка движется в сторону, противоположную направлению силы. Сила работы не совершает, так как точка её приложения не перемещается.

Пройденные пути и можно выразить через угол поворота рычага а, измеренный в радианах и. Учитывая это, перепишем выражения для работы так.

Радиусы и дуг окружностей, описываемых точками приложения сил и, являются перпендикулярами, опушенными из оси вращения на линии действия этих сил.

Как вы уже знаете, плечо силы - это кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы Будем обозначать плечо силы буквой.

Тогда плечо силы - плечо силы. При этом выражения (7.4) примут вид.

Из формул (7.5) видно, что работа каждой из сил равна произведению момента силы на угол поворота рычага. Следовательно, выражения (7.5) для работы можно переписать в виде, а полную работу внешних сил можно выразить формулой. Так как момент силы положителен и равен (см. рис. 7.4), а момент силы отрицателен и равен, то для работы можно записать выражение.

Когда тело приходит в движение, его кинетическая энергия увеличивается. Для увеличения кинетической энергии внешние силы должны совершать работу, т.е. в этом случае и соответственно.

Если работа внешних сил равна нулю, то кинетическая энергия тела не изменяется (остаётся равной нулю) и тело остаётся неподвижным. Тогда.

Уравнение (7.8) и есть второе условие равновесия твёрдого тела.

При равновесии твёрдого тела сумма моментов всех внешних сил, действующих на него относительно любой оси, равна нулю.

Итак, в случае произвольного числа внешних сил условия равновесия абсолютно твёрдого тела следующие.

Второе условие равновесия можно вывести из основного уравнения динамики вращательного движения твёрдого тела . Согласно этому уравнению суммарный момент сил, действующих на тело угловое ускорение. Если твёрдое тело неподвижно, то и, следовательно. Таким образом, второе условие равновесия имеет вид.

Если тело не абсолютно твёрдое, то под действием приложенных к нему внешних сил оно может и не оставаться в равновесии, хотя сумма внешних сил и сумма их моментов относительно любой оси равны нулю.

Приложим, например, к концам резинового шнура две силы, равные по модулю и направленные вдоль шнура в противоположные стороны. Под действием этих сил шнур не будет находиться в равновесии (шнур растягивается), хотя сумма внешних сил равна нулю и нулю равна сумма их моментов относительно оси, проходящей через любую точку шнура.