

2.1. Законы Ньютона

Три закона, положенные в основу классической механики, впервые сформулировал И. Ньютон в 1687 году в труде "Математические начала натуральной философии". Законы Ньютона являются обобщением опытных данных и результатов теоретических исследований, полученных не только самим Ньютоном, но и его предшественниками, прежде всего, – Г. Галилеем.

Первый закон Ньютона

Первый закон классической механики как закон инерции для случая движения тел по горизонтальной плоскости установил Г. Галилей. Поэтому данный закон часто называют законом инерции Галилея. Заслуга Ньютона состоит в том, что он не только обобщил закон инерции, но ввёл его в физику как составную часть системы основных законов механики. Именно системный подход Ньютона к формулировке фундаментальной базы механики стал причиной того, что закон всё-таки носит его имя. В современной трактовке законы Ньютона формулируют для простейшей модели физического тела – материальной точки.

Первый закон Ньютона (закон инерции Галилея)

Материальная точка сохраняет свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не заставит её изменить это состояние.

Закон инерции выполняется не во всех системах отсчёта. Существует особый, выделенный класс систем отсчёта, для которых он справедлив.

Системы отсчёта, в которых выполняется первый закон Ньютона, называют **инерциальными системами отсчёта**.

По сути дела, первый закон Ньютона постулирует существование инерциальных систем отсчёта, в которых состояние покоя и равномерного прямолинейного движения материальной точки не требуют для своего поддержания каких-либо внешних воздействий.

Как показывает опыт, с большой степенью точности инерциальной можно считать **гелиоцентрическую систему отсчета**, центр которой совпадает с центром масс Солнца, а оси направлены на удаленные звезды. Все **другие инерциальные системы отсчета движутся относительно гелиоцентрической системы а, следовательно, и относительно друг друга, поступательно, прямолинейно и равномерно.**

Система отсчета, связанная с Землей, не является инерциальной, т.к. Земля вращается вокруг своей оси и движется относительно Солнца по замкнутой траектории. Однако периоды этих движений достаточно большие: 1 сутки вращения вокруг земной оси и 1 год обращения вокруг Солнца. Поэтому во многих практических задачах о движении тел с не слишком большими скоростями в течение сравнительно коротких промежутков времени систему отсчета, связанную с Землей, можно считать инерциальной.

Инертность тел. Масса

Опыт показывает, что всякое тело сопротивляется попыткам изменить свое состояние покоя или движения. Это свойство тел называют **инертностью**. В качестве меры инертности тел используют скалярную положительную физическую величину m , называемую массой.

Масса как мера инертности тел (**инертная масса**) является основной физической величиной, т.е. она условно принимается не зависящей от других величин. Для ее измерения используется эталон, хранящийся в Международном бюро мер и весов. Массы других тел определяются путем сравнения с эталоном.

Единица массы в СИ – килограмм: $[m] = 1 \text{ кг}$.

В классической (ньютоновской) механике масса считается аддитивной величиной, т.е. считается, что масса составного тела равна сумме масс его частей.

Механическое взаимодействие тел. Сила

Изменение состояния покоя или движения тел возникает в результате воздействия других тел. Возникающее при этом взаимодействие тел называют **механическим взаимодействием**.

Мерой механического взаимодействия между телами является векторная физическая величина \vec{F} , называемая **силой**. Сила имеет модуль, направление и точку приложения. Прямую линию, вдоль которой направлена сила, называют **линией действия силы**.

Второй закон Ньютона

Второй закон Ньютона имеет две формулировки: частную и обобщённую. Частная формулировка данного закона устанавливает соотношение между действующей на материальную точку силой и ускорением, которое она приобретает под действием данной силы.

Второй закон Ньютона (частная формулировка)

Произведение массы материальной точки на ускорение, которое она приобретает в результате действия некоторой силы, равно силе, действующей на данную материальную точку.

Второй закон Ньютона, так же как и первый, справедлив только в инерциальных системах отсчета. Данный закон достаточно точно выполняется при движении тел со скоростями, много меньшими скорости света в вакууме.

Математическое выражение второго закона Ньютона имеет вид:

$$m\vec{a} = \vec{F}, \quad (2.1)$$

Из (2.1) видно, что сила, действующая на материальную точку, и ускорение, которое точка приобретает под действием этой силы, пропорциональны друг другу и направлены по одной прямой, совпадающей с линией действия силы (рис. 2.1).

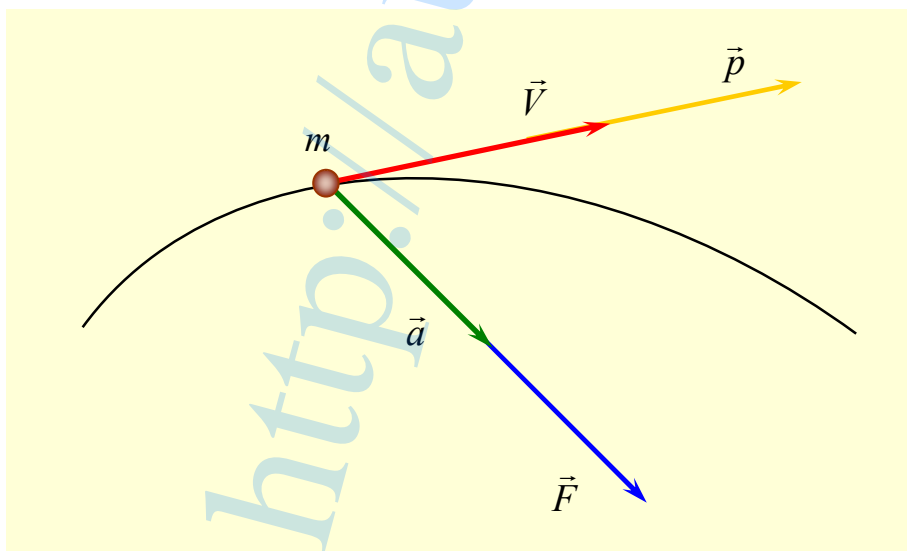


Рис. 2.1. Сила и ускорение, скорость и импульс

Сила является производной физической величиной. Единица силы в СИ – ньютон: $[F] = 1 \text{ Н}$. Как видно из соотношения (2.1): $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/с}^2$.

Импульс материальной точки. Обобщённая формулировка второго закона Ньютона

Соотношение (2.1) не распространяется на тела, движущиеся со скоростью, сопоставимой со скоростью света в вакууме. Но не только этим ограничено применение данного соотношения. Его нельзя использовать, например, для исследования движения тел переменной массы. А это значит, что частная формулировка второго закона Ньютона непригодна для решения такой практически важной задачи, как расчет движения ракет, масса которых существенно изменяется в процессе движения. Если тело теряет значительную долю своей энергии на излучение электромагнитных волн, то к нему также нельзя применять второй закон Ньютона в форме (2.1).

Применение соотношения (2.1) строго ограничено рамками классической механики тел постоянной массы.

Более общую формулировку второго закона Ньютона можно получить, введя физическую величину, характеризующую количество движения материальной точки. Первоначально данная величина так и называлась: **количество движения**. Это название до сих пор сохранилось в теоретической механике. В физике величину, являющуюся мерой количества движения, в настоящее время называют **импульсом**.

Импульс \vec{p} материальной точки – векторная величина, равная произведению массы материальной точки на её скорость:

$$\vec{p} = m\vec{V}. \quad (2.2)$$

По определению, импульс материальной точки направлен так же, как скорость (см. рис. 2.1).

Единица импульса в СИ (специального названия не имеет): $[p] = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

Второй закон Ньютона (обобщённая формулировка)

Скорость изменения импульса материальной точки равна действующей на материальную точку силе.

Скорость изменения импульса вычисляется как производная импульса по времени. Математическое выражение второго закона Ньютона в обобщённой формулировке имеет вид:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}. \quad (2.3)$$

Покажем, что в области классической механики тел постоянной массы ($m = const$) обе формулировки второго закона Ньютона тождественны. Действительно,

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{V})}{dt} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = m\vec{a} = \vec{F}.$$

Но обобщённая формулировка может применяться и за пределами классической механики тел постоянной массы, поскольку справедлива также и для тел переменной массы, и для тел, излучающих электромагнитные волны, и для тел, движущихся со скоростями, близкими к скорости света.

Третий закон Ньютона

Третий закон Ньютона постулирует равенство действия и противодействия при механическом взаимодействии тел.

Третий закон Ньютона

Силы механического взаимодействия двух материальных точек имеют одинаковую природу, равны по модулю и направлены в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющей эти материальные точки.

Взаимодействие тел может иметь характер притяжения (рис. 2.2 а) или отталкивания (рис. 2.2 б), но всегда, если одна материальная точка действует на другую силой \vec{F} , то вторая действует на первую силой \vec{F}' , причем силы \vec{F} и \vec{F}' находятся в следующих соотношениях:

$$|\vec{F}| = |\vec{F}'|; \quad \vec{F} = -\vec{F}'.$$

Необходимо иметь в виду, что, в общем случае, силы действия и противодействия не уравновешивают друг друга, т.к. приложены к разным телам.

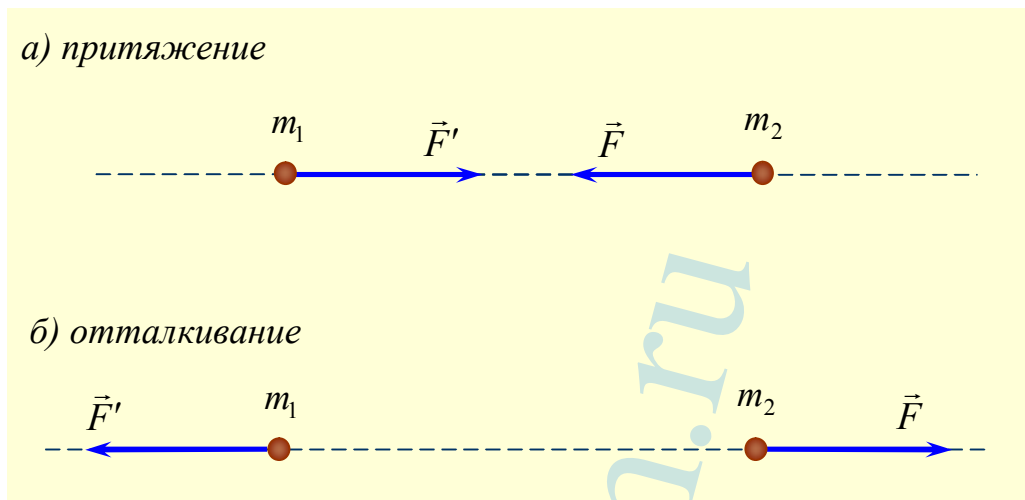


Рис.2.2. Механическое взаимодействие материальных точек

Согласно третьему закону Ньютона действие одних тел на другие имеет характер взаимодействия: действию всегда соответствует равное по величине и противоположно направленное противодействие. Соответственно, и каждая сила как мера действия имеет свою пару: равную по модулю и противоположно направленную силу противодействия.

Для применения третьего закона Ньютона силы \vec{F} и \vec{F}' должны быть измерены одновременно. Для этого, во-первых, обе силы необходимо измерять в одной и той же системе отсчёта, поскольку понятие одновременности событий является относительным. Во-вторых, действие одного тела на другое либо не должно изменяться с течением времени, либо изменение действия должно передаваться другому телу мгновенно. Японский физик, лауреат Нобелевской премии Х. Юкава, для иллюстрации этой особенности третьего закона Ньютона приводил такой пример. Предположим, что на Земле некий великан дёргает за верёвку Солнце. Солнце "узнает" о том, что его дёргают не раньше, чем через 8 минут – это время прохождения от Земли до Солнца самого быстрого сигнала, распространяющегося со скоростью света. За это время великан может бросить верёвку, и передавать ответную силу противодействия будет уже некому.

Третий закон Ньютона справедлив при контактных взаимодействиях. Если тела находятся на некотором расстоянии друг от друга и характер взаимодействия изменяется, то расстояние между телами должно быть небольшим, так чтобы передачу действия одного тела на другое можно было считать мгновенной.

Существуют также ограничения на применение третьего закона Ньютона в тех случаях, когда взаимодействие между телами осуществляется посредством электромагнитного поля.