

Первый закон Ньютона. Масса. Сила

При движении тела его скорость \vec{v} может изменяться по модулю и направлению. Это означает, что тело движется с некоторым ускорением \vec{a} . В кинематике не ставится вопрос о физической причине, вызвавшей ускорение движения тела. Любое изменение скорости тела возникает под влиянием других тел. *Динамика* рассматривает действие одних тел на другие как причину, определяющую характер движения тел.

Взаимодействием тел принято называть взаимное влияние тел на движение каждого из них. **Раздел механики, изучающий законы взаимодействия тел, называется динамикой.**

Законы динамики были открыты в 1687 г. великим ученым И. Ньютоном. Сформулированные им законы динамики лежат в основе так называемой **классической** механики. Законы Ньютона следует рассматривать как обобщение опытных фактов. Выводы классической механики справедливы только при движении тел с малыми скоростями, значительно меньшими скорости света c .

Самой простой механической системой является **изолированное тело**, на которое не действуют никакие тела. Так как движение и покой относительны, в различных **системах отсчета** движение изолированного тела будет разным. В одной системе отсчета тело может находиться в покое или двигаться с постоянной скоростью, в другой системе это же тело может двигаться с ускорением.

Первый закон Ньютона (или **закон инерции**) из всего многообразия систем отсчета выделяет класс так называемых **инерциальных систем**.

Существуют такие системы отсчета, относительно которых изолированные поступательно движущиеся тела сохраняют свою скорость неизменной по модулю и направлению.

Свойство тел сохранять свою скорость при отсутствии действия на него других тел называется **инерцией**. Поэтому первый закон Ньютона называют **законом инерции**.

Впервые закон инерции был сформулирован Г. Галилеем (1632 г.). Ньютон обобщил выводы Галилея и включил их в число основных законов движения.

В механике Ньютона законы взаимодействия тел формулируются для класса инерциальных систем отсчета.

При описании движения тел вблизи поверхности Земли системы отсчета, связанные с Землей, приближенно можно считать инерциальными. Однако, при повышении точности экспериментов, обнаруживаются отклонения от закона инерции, обусловленные вращением Земли вокруг своей оси.

При описании движения тел вблизи поверхности Земли системы отсчета, связанные с Землей, приближенно можно считать инерциальными. Однако, при повышении точности экспериментов, обнаруживаются отклонения от закона инерции, обусловленные вращением Земли вокруг своей оси.

Примером тонкого механического эксперимента, в котором проявляется неинерциальность системы, связанной с Землей, служит поведение **маятника Фуко**. Так называется массивный шар, подвешенный на достаточно длинной нити и совершающий малые колебания около положения равновесия. Если бы система, связанная с Землей, была инерциальной, плоскость качаний маятника Фуко относительно Земли оставалась бы неизменной. На самом деле плоскость качаний маятника вследствие вращения Земли поворачивается, и проекция траектории маятника на поверхность Земли имеет вид розетки (рис. 1).

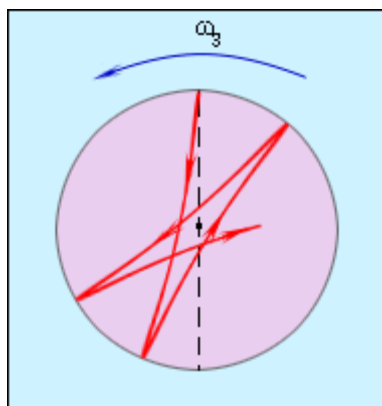


Рисунок 1. - Поворот плоскости качаний маятника Фуко

С высокой степенью точности инерциальной является **гелиоцентрическая система отсчета** (или система Коперника), начало которой помещено в центр Солнца, а оси направлены на далекие звезды. Эту систему использовал Ньютон при формулировании закона **всемирного тяготения** (1682 г.).

Инерциальных систем существует бесконечное множество. Система отсчета, связанная с поездом, идущим с постоянной скоростью по прямолинейному участку пути, – тоже инерциальная система (приближенно), как и система, связанная с Землей. Все инерциальные системы отсчета образуют класс систем, которые движутся друг относительно друга равномерно и прямолинейно. Ускорения какого-либо тела в разных инерциальных системах одинаковы.

Итак, причиной изменения скорости движения тела в инерциальной системе отсчета всегда является его взаимодействие с другими телами. Для количественного описания движения тела под воздействием других тел необходимо ввести две новые физические величины – инертную **массу тела** и **силу**.

Масса – это свойство тела, характеризующее его инертность. При одинаковом воздействии со стороны окружающих тел одно тело может быстро изменять свою скорость, а другое в тех же условиях – значительно медленнее. Принято говорить, что второе из этих двух тел обладает большей инертностью, или, другими словами, второе тело обладает большей массой.

Если два тела взаимодействуют друг с другом, то в результате изменяется скорость обоих тел, т. е. в процессе взаимодействия оба тела приобретают ускорения. Отношение ускорений двух данных тел оказывается постоянным при любых воздействиях. В физике принято, что массы взаимодействующих тел обратно пропорциональны ускорениям, приобретаемым телами в результате их взаимодействия.

$$\frac{m_1}{m_2} = -\frac{a_2}{a_1}$$

В этом соотношении величины a_1 и a_2 следует рассматривать как проекции векторов \vec{a}_1 и \vec{a}_2 на ось Ox (рис. 2). Знак «минус» в правой части формулы означает, что ускорения взаимодействующих тел направлены в противоположные стороны.

В Международной системе единиц (СИ) масса тела измеряется в **килограммах (кг)**.

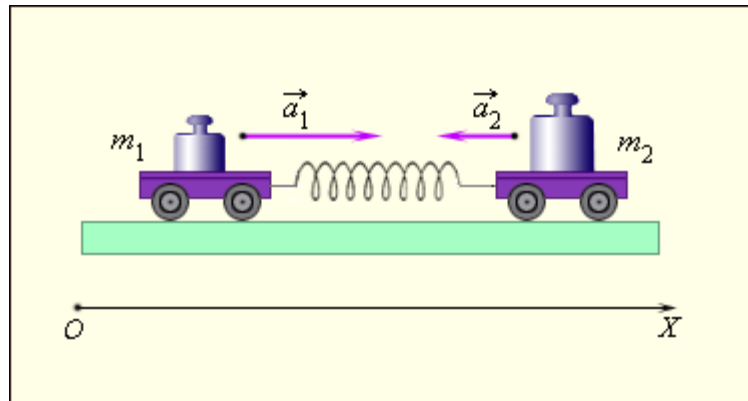
Масса любого тела может быть определена на опыте путем сравнения с **массой эталона** ($m_{эТ} = 1$ кг). Пусть $m_1 = m_{эТ} = 1$ кг. Тогда

$$m_2 = -\frac{a_1}{a_2}$$

Масса тела – **скалярная величина**. Опыт показывает, что если два тела с массами m_1 и m_2 соединить в одно, то масса m составного тела оказывается равной сумме масс m_1 и m_2 этих тел:

$$m = m_1 + m_2.$$

Это свойство масс называют **аддитивностью**.



$$\frac{m_1}{m_2} = -\frac{a_2}{a_1}$$

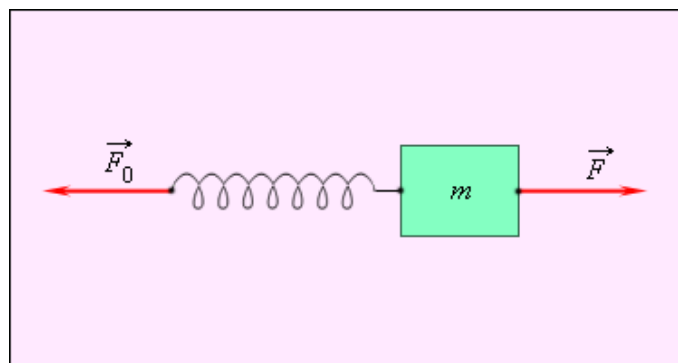
Рисунок 2 -Сравнение масс двух тел.

Сила – это количественная мера взаимодействия тел. Сила является причиной изменения скорости тела. В механике Ньютона силы могут иметь различную физическую природу: сила трения, сила тяжести, упругая сила и т. д. Сила является **векторной величиной**. Векторная сумма всех сил, действующих на тело, называется **равнодействующей силой**.

Для измерения сил необходимо установить **эталон силы** и **способ сравнения** других сил с этим эталоном.

В качестве эталона силы можно взять пружину, растянутую до некоторой заданной длины. Модуль силы F_0 , с которой эта пружина при фиксированном растяжении действует на прикрепленное к ее концу тело, называют **эталоном силы**. Способ сравнения других сил

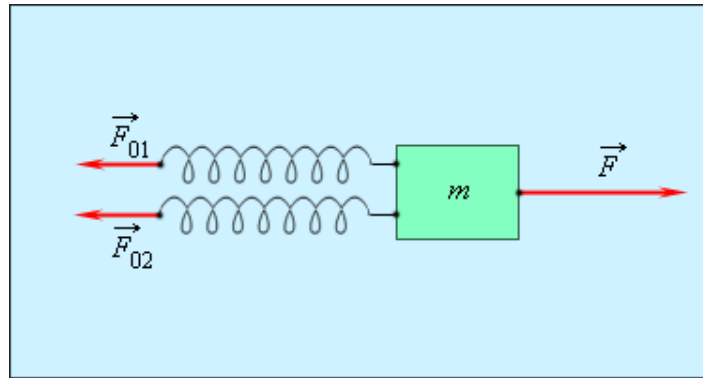
с эталоном состоит в следующем: если тело под действием измеряемой силы \vec{F} и эталонной силы \vec{F}_0 остается в покое (или движется равномерно и прямолинейно), то силы равны по модулю $F = F_0$ (рис. 3).



$$\vec{F} \quad F = F_0$$

Рисунок 3 - Сравнение силы с эталоном.

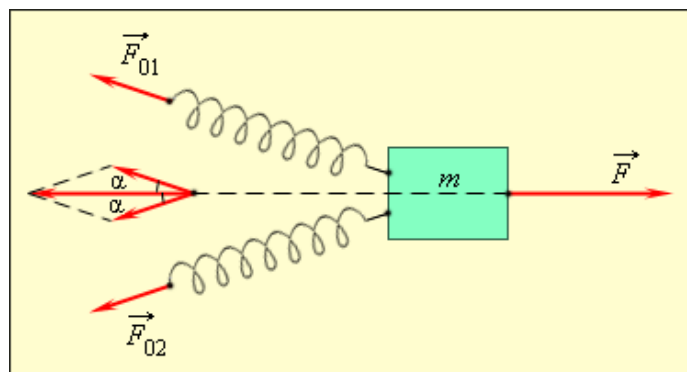
Если измеряемая сила F больше (по модулю) эталонной силы, то можно соединить две эталонные пружины параллельно (рис. 4). В этом случае измеряемая сила равна $2F_0$. Аналогично могут быть измерены силы $3F_0$, $4F_0$ и т. д.



$$\vec{F} \quad F = 2F_0$$

Рисунок 4 - Сравнение силы с эталоном.

Измерение сил, меньших $2F_0$, может быть выполнено по схеме, показанной на рис. 5.



$$\vec{F} \quad F = 2F_0 \cos \alpha$$

Рисунок 5 - Сравнение силы с эталоном.

Эталонная сила в Международной системе единиц называется ньютон (Н).

Сила в 1 Н сообщает телу массой 1 кг ускорение 1 м/с^2

На практике нет необходимости все измеряемые силы сравнивать с эталоном. Для измерения сил используют пружины, откалиброванные описанным выше способом. Такие откалиброванные пружины называются **динамометрами**. Сила измеряется по растяжению динамометра (рис. 6).

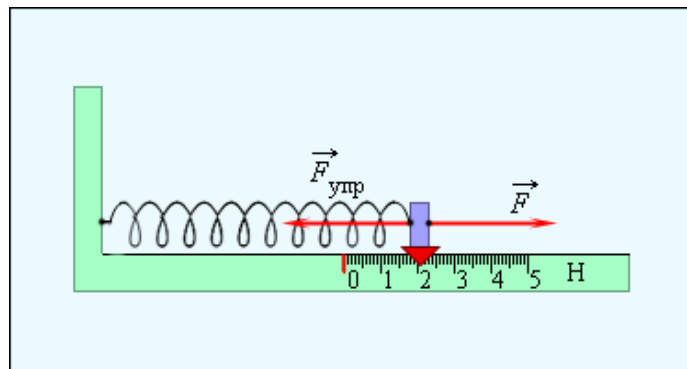


Рисунок 6 - Измерение силы по растяжению пружины. При
 $\vec{F} = -\vec{F}_{\text{упр}}$
 равновесии

Второй закон Ньютона

Второй закон Ньютона получен в результате обобщения большого числа опытных данных, и является экспериментальным законом. Запишем несколько формулировок второго закона Ньютона.

Произведение массы частицы (тела) на ее (его) ускорение равно силе, действующей на частицу:

$$m \cdot a = F, \quad a \parallel F \quad (1)$$

Ускорение, приобретаемое частицей (телом), пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе частицы (тела):

$$a = F/m \quad (2)$$

Преобразуем формулу (1), подставив в нее значение ускорения, вытекающее из определения этой величины: $a = \dot{v}$ и внося под знак производной постоянный множитель - m , будем иметь:

$$(m\dot{v})' = F \quad \text{или, учитывая, что } m\dot{v} = p, \text{ получаем: } p' = F \quad (3)$$

Скорость изменения импульса частицы равна действующей на частицу силе.

Формулы (1-3) называются уравнениями движения частицы, а второй закон Ньютона - основным законом динамики поступательного движения.

Из формулы (3) следует:

$$dp = F \cdot dt \quad (4)$$

или для конечного промежутка времени

$$\Delta t : \Delta p = F \cdot \Delta t \quad (5)$$

Импульс силы равен приращению импульса тела.

Если на тело действуют несколько сил, то под силой F в формулах (1-5) понимают их результирующую, или:

$$F = \sum F_i \quad (6)$$

а под импульсом в формуле (10.3.) понимают их результирующую:

$$p = \sum p_i \quad (7)$$

Формула (3) справедлива и для протяженных тел, движущихся поступательно. Если $F=0$, то $a_i=0$, и тело движется прямолинейно и равномерно.

Если имеется система координат - x, y, z , то:

$$F = F_x + F_y + F_z = F_x \cdot i + F_y \cdot j + F_z \cdot k \quad (8)$$

$$F_x = m \cdot a_x = m \cdot x'';$$

$$F_y = m \cdot a_y = m \cdot y'' \quad (9)$$

$$F_z = m \cdot a_z = m \cdot z''$$

Из формулы (8) следует принцип независимости действия сил:

если на частицу действует одновременно несколько сил, то каждая из этих сил сообщает частице ускорение согласно второму закону Ньютона, как если бы других сил не было.

Согласно принципу независимости силы и ускорения можно разлагать на составляющие, а это упрощает решение задач. Для тела, движущегося по криволинейной траектории, принято вектор силы раскладывать на нормальную и тангенциальную составляющие:

$$F = F_t + F_n \quad (10)$$

Модули тангенциальной и нормальной составляющих силы равны:

$$F_t = m \cdot a_t, \quad F_n = m \cdot a_n \quad (11)$$

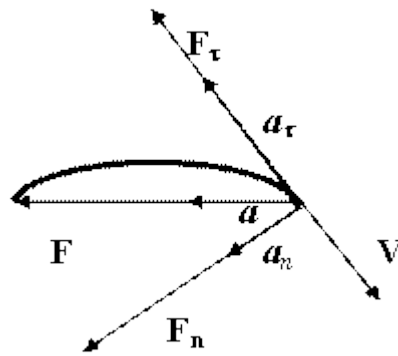


Рис. 1 - Составляющие векторов силы и ускорения при равнозамедленном движении
 Если есть произвольное направление, заданное осью l , то спроецировав уравнение (1) на это направление, получим:

$$F_l = m \cdot a_l \quad (12)$$

При расчетах удобно использовать формулы (9) и (12).

В СИ единицей силы является ньютон - (Н), импульса - $[p]=1 \text{ кг м/с}$.

Один ньютон равен силе, под действием которой тело массой 1 кг получает ускорение в 1 м/с^2 . $1 \text{ Н}=1 \text{ кг м/с}^2$;

Третий закон Ньютона

Воздействие тел друг на друга всегда носит характер взаимодействия. Если тело 2 действует на тело 1 с силой F_{12} , то и тело 1 действует на тело 2 с силой F_{21} . Условимся при обозначения сил в индексе силы первая цифра показывает номер тела, на которое она действует, а вторая цифра - номер тела, которое действует.

Третий закон Ньютона утверждает:

силы, с которыми взаимодействуют два тела, равны по модулю и противоположны по направлению и действуют вдоль прямой, соединяющей эти тела:

$$F_{12} = -F_{21} \quad (1)$$

Таким образом, силы всегда возникают попарно, но силы F_{21} и F_{12} приложены к разным телам; поэтому уравновесить друг друга они не могут.

Силы F_{12} и F_{21} одной природы.

Перепишем формулу (1), подставив в нее силы $F_{12} = dp_{12}/dt$ и $F_{21} = dp_{21}/dt$ $F_{12}=dp_{12}/dt$, получим:

$F_{12}+F_{21}=dp_{12}/dt+dp_{21}/dt=0$ с одной стороны, а с другой:

$$0 = dp_1/dt + dp_2/dt = d/dt \cdot [p_1 + p_2] \quad (2)$$

Отсюда следует, что

$$p_1 + p_2 = const \quad (3)$$

Таким образом, при взаимодействии двух тел сумма их импульсов является постоянной. Еще одна формулировка третьего закона Ньютона звучит так:

при отсутствии внешних сил сумма импульсов взаимодействующих тел должна быть постоянной.

Третий закон Ньютона, как и первые два, справедлив лишь в инерциальных системах отсчета. В неинерциальных системах отсчета этот закон оказывается несправедлив, он также не выполняется и в случае движения тел со скоростями, сравнимыми со скоростью света. Но в рамках классической (ньютоновской) механики в инерциальных системах отсчета третий закон Ньютона справедлив всегда.

Первый закон Ньютона является независимым законом, выражающим критерий пригодности системы отсчета для рассмотрения движений в кинематическом и

динамическом смысле. Только после него можно говорить о точно определенном физическом смысле и содержании второго и третьего законов Ньютона.

Второй закон Ньютона дает выражение ускорения тела, приобретенного им под действием приложенной к нему силы.

Современная формулировка третьего закона Ньютона в виде требования сохранения суммарного импульса участвующих во взаимодействии тел и полей является физически более содержательным, чем формулировка в виде требования равенства сил действия и противодействия. Невыполнимость третьего закона Ньютона в простейшей форме является следствием общих релятивистских свойств пространства и времени.