Лекция 5. Законы и принципы классической физики

Содержание

Общая формулировка второго закона Ньютона

Выражения, полученные ранее $\vec{a} = \dfrac{\vec{F}}{m}$ и $m\vec{a} = \vec{F}$,

справедливы только для материальной точки постоянной массы.

Наиболее общую формулировку второго закона динамики можно получить, введя понятие импульса.

Произведение массы материальной точки и ее скорости называется импульсом материальной точки

$$\vec{p} = m\vec{\upsilon}.$$

Импульс — векторная физическая величина, которая совпадает по направлению с вектором скорости, обозначается $\vec{p}$ и измеряется в кг·м/с.

В литературе можно встретить устаревшее название импульса — количество движения.

Формулу, выражающую второй закон Ньютона, можно представить в виде:

$$m\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}=\vec{F}\quad .$$

Если массу m поднести под знак производной, получим

$$\boxed{\frac{d\left(m\vec{\upsilon}\right)}{dt}=\vec{F}}\quad .$$

Это общее выражение второго закона Ньютона, справедливое для материальной точки как постоянной, так и переменной массы.

Отметим, что это рассуждения, а не вывод.

Законы Ньютона не выводятся, а являются результатом обобщения опытных данных.

Наоборот, из общего выражения могут быть получены частные случаи, рассмотренные ранее, которые справедливы только для частиц (тел) постоянной массы.

Таким образом, второй закон Ньютона в наиболее общей форме является законом изменения импульса: скорость изменения импульса материальной точки равна действующей на эту точку силе:

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

Примерно таким же образом сформулировал данный закон и сам Ньютон: «Изменение количества движения пропорционально движущей силе и происходит в направлении той прямой, по которой эта сила действует».

Второй закон Ньютона в общей форме правильно отражает динамические закономерности во всех случаях движения материальной точки.

Импульсом силы называется произведение силы и времени ее действия $\vec{F}dt$.

Это векторная величина, которая по направлению совпадает с силой.

Введя понятие импульса силы, можно дать еще одну общую формулировку второго закона Ньютона: изменение импульса материальной точки равно импульсу действующей силы

$$d\vec{p} = \vec{F}dt \quad .$$

Как видно из последней формулы, одно и то же изменение импульса может быть вызвано как малой, но длительно действующей силой, так и большой, но кратковременной.

Никакая самая большая сила не может мгновенно изменить импульс (а значит, и скорость) даже небольшого тела.

Для изменения импульса необходимо, чтобы сила действовала на протяжении определенного интервала времени, причем тем большего, чем больше масса и меньше сила.

Третий закон Ньютона

Напомним, что в первом законе Ньютона рассматривается состояние движения тел при отсутствии или скомпенсированности действующих сил, а во втором — устанавливается количественная зависимость ускорения от силы.

При этом сила характеризуется как мера воздействия одного тела на другое, что предполагает наличие по крайней мере двух тел.

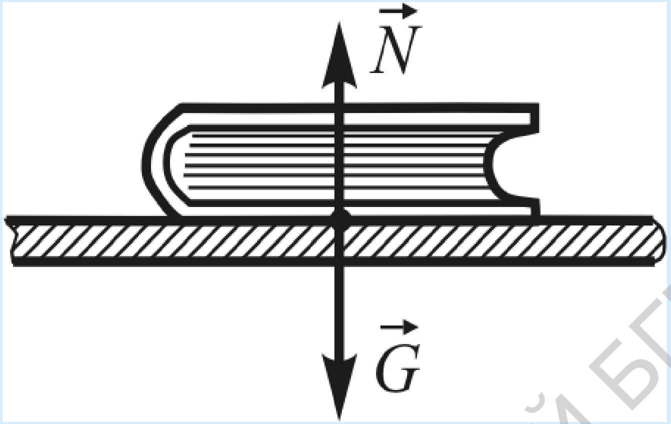
Эти законы, однако, не выясняют причин возникновения сил и не рассматривают тел, которые воздействуют на данное.

Тот факт, что сила возникает в результате взаимодействия тел, отражает третий закон Ньютона:

силы, с которыми тела действуют друг на друга, равны по модулю, противоположны по направлению, лежат на одной прямой и приложены к разным телам.

В формулировке Ньютона он звучит: «Для каждого действия всегда существует равное и противоположное противодействие».

Например, сила веса $\vec{G}$, с которой книга действует на стол, на котором она лежит, приложена к столу и направлена вниз.



Со стороны стола на книгу действует сила противодействия (реакции) $\vec{N}$,численно равная $\vec{G}$ и направленная в противоположную сторону.

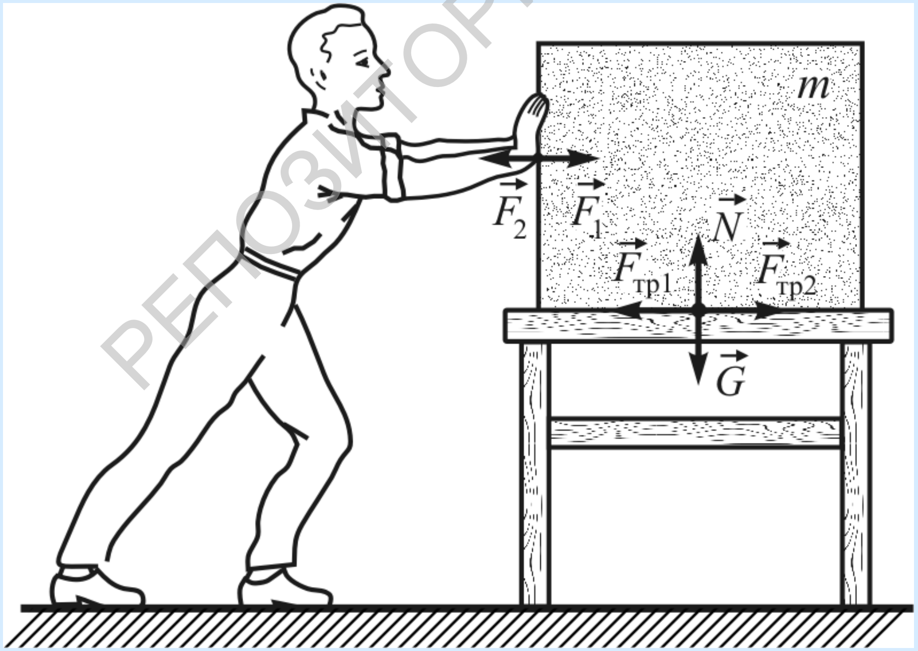
Данное утверждение аналитически выражается так:

$$\vec{N} = -\vec{G}$$

.

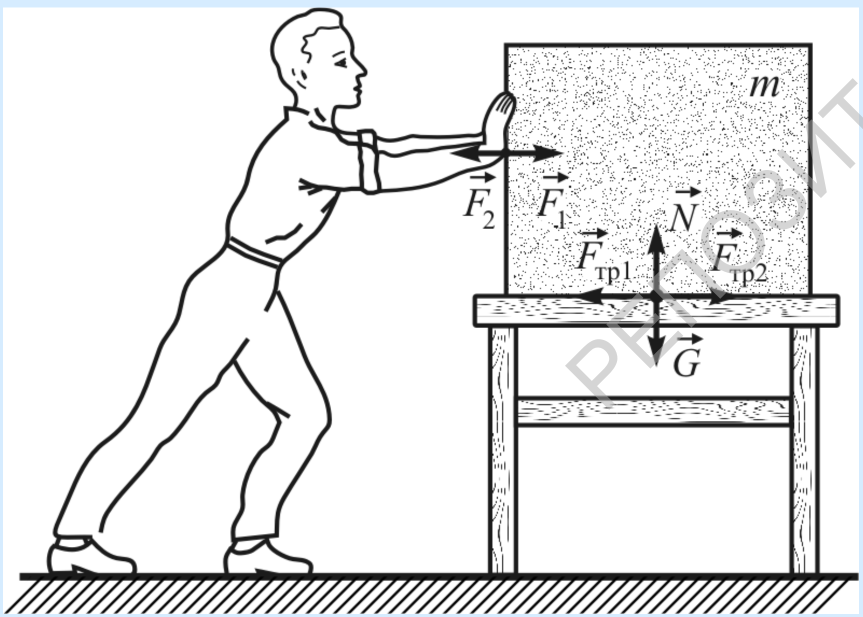
В инерциальных системах нет действия без противодействия, т. е. эти силы всегда существуют парами.

Если, например, человек толкает лежащую на столе коробку, действуя силой $\vec{F}_1$, с такой же по модулю, но противоположно направленной силой $\vec{F}_2$ коробка действует на человека.



На основание коробки действует сила трения $\vec{F}_{тр1}$ со стороны стола, в свою очередь сила трения $\vec{F}_{тр2} = -\vec{F}_{тр1}$ действует со стороны поверхности коробки на стол, на стол действует сила веса $\vec{G}$, а на коробку реакция стола $\vec{N} = -\vec{G}$.

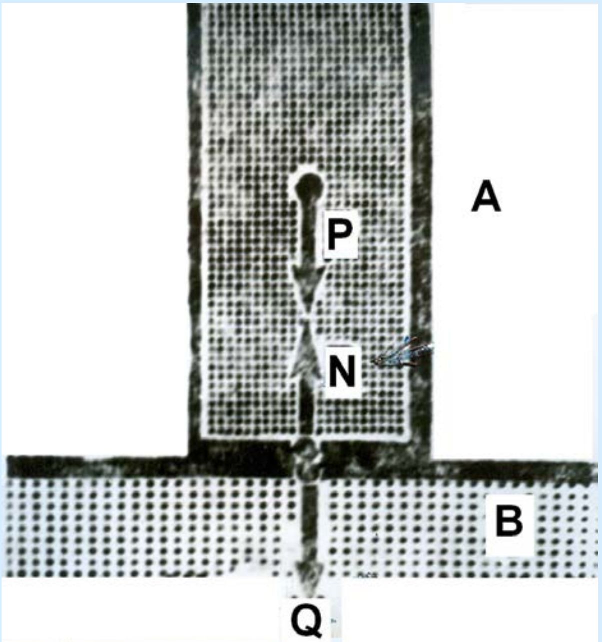
Отметим, что названия сил — действующая и противодействующая — условные. Какую из сил считать действующей, а какую — противодействующей, определяется удобством решения конкретной задачи.

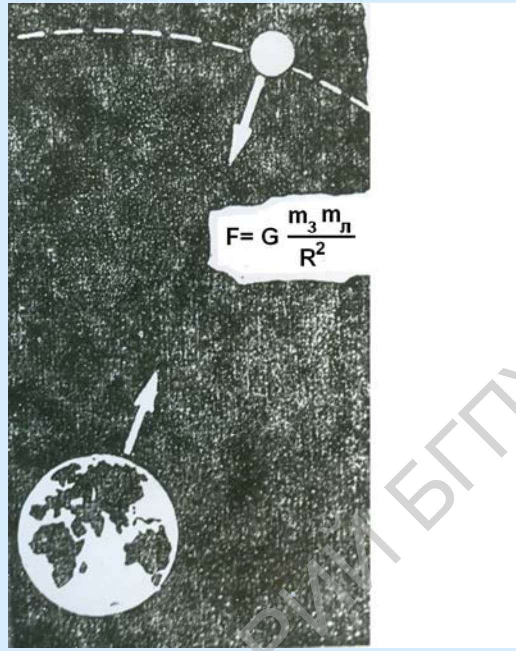


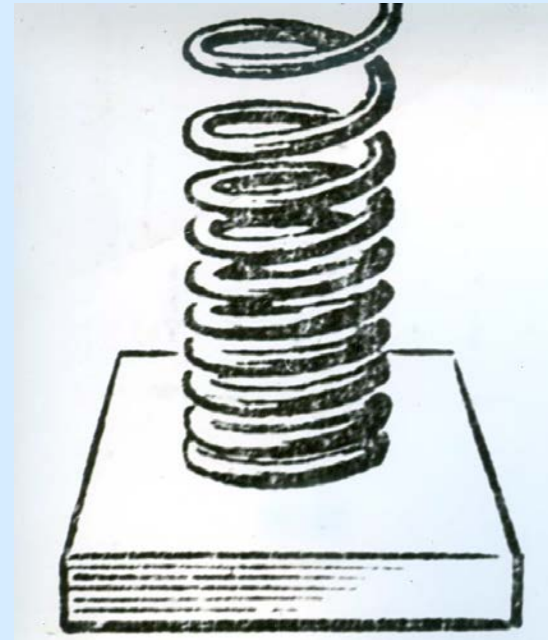
Третий закон Ньютона не решает вопрос об ускорении тел под действием этих двух сил, поскольку они приложены к разным телам.

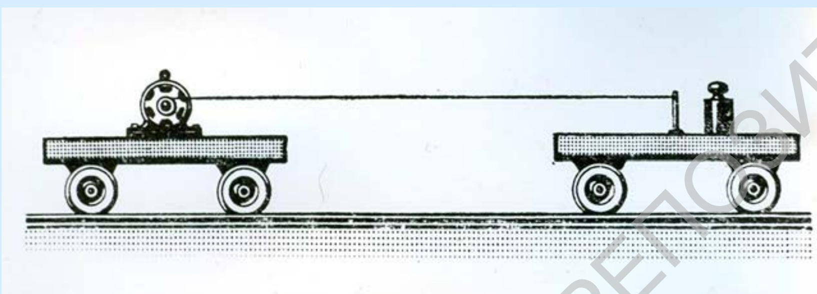
Речь идет только об их равенстве.

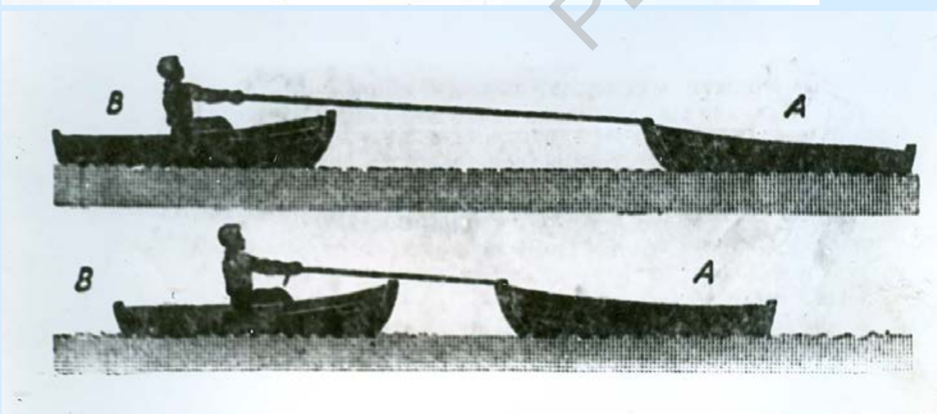
Чтобы определить ускорение тела, необходимо знать все силы, которые действуют на это тело.

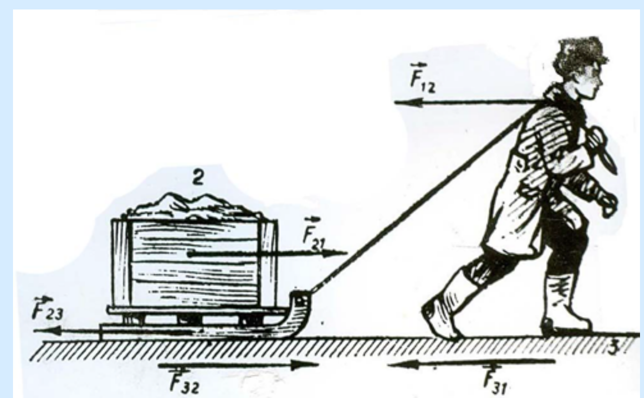

A
P
N
B
Q


$F = G\frac{m_з m_л}{R^2}$






B
A
B
A


$\vec{F}_{12}$
2
$\vec{F}_{21}$
$\vec{F}_{23}$
3
$\vec{F}_{32}$
$\vec{F}_{31}$

Преобразования Галилея для координат и скоростей

При рассмотрении механического движения до сих пор мы исходили из того, что оно происходит относительно неподвижной системы отсчета.

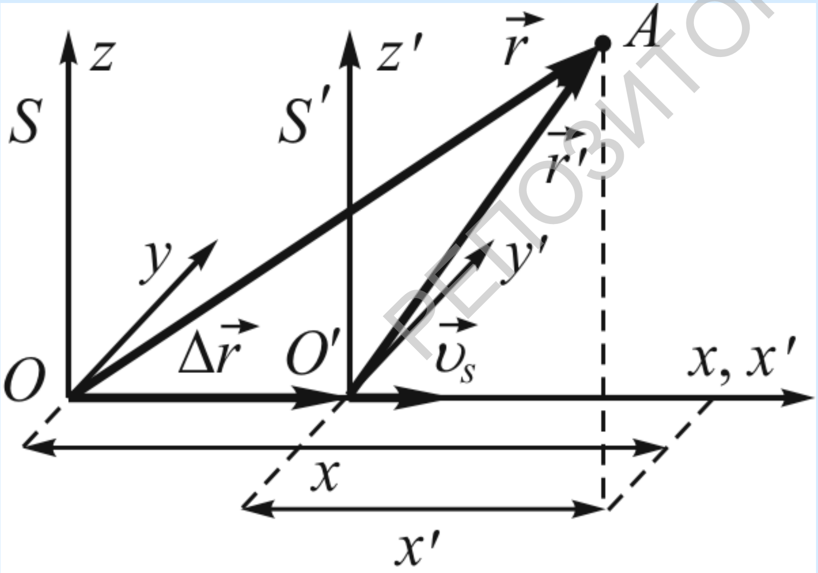
Естественной является постановка вопроса о том, будет ли изменяться аналитическая форма законов механики, полученных для инерциальной системы отсчета, связанной с неподвижными телами, при переходе к системе отсчета, движущейся равномерно и прямолинейно относительно первой.

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо, прежде всего, найти формулу для перехода от координат x, y, z и времени t в неподвижной системе S к координатам x', y', z' и времени t' в системе отсчета S', движущейся относительно первой равномерно и прямолинейно со скоростью υ_S, намного меньшей скорости света ($\upsilon_S << c$).

Пусть координатные оси x', y', z' параллельны соответствующим осям x, y, z

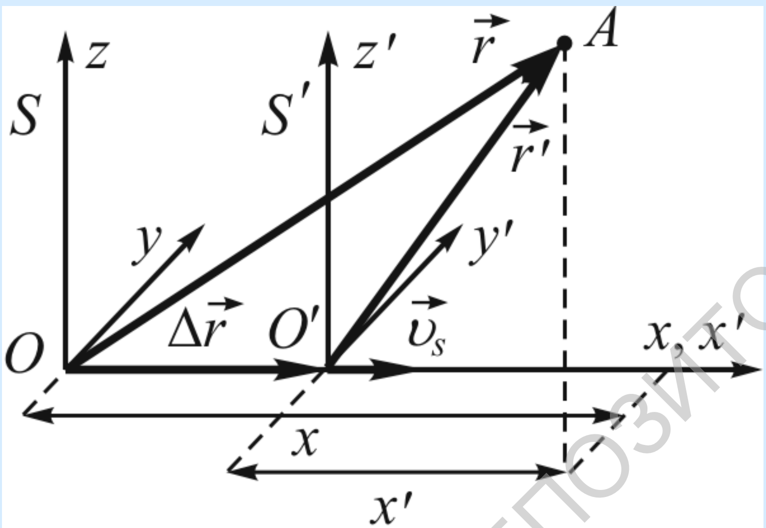
и в начальный момент времени $t = 0$ начало координат О' совпадает с началом координат О.

Кроме того, будем считать скорость подвижной системы υ_S параллельной оси х.



Такие допущения упрощают решение задачи, не уменьшая ценности общих выводов.

В классической физике постулируется, что при $\upsilon << c$ время абсолютно, т. е. в обеих системах отсчета течет одинаково: $t = t'$



Как видно из рисунка, радиус-вектор некоторой точки А в неподвижной системе отсчета равен сумме радиуса-вектора этой точки в подвижной системе отсчета $\vec{r}'$ и вектора перемещения системы $\Delta\vec{r}$:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \Delta\vec{r}.$$

Выразив $\Delta\vec{r}$ через скорость подвижной системы $\Delta\vec{r} = \vec{\upsilon}_s t'$ и, учитывая одинаковость протекания процессов во времени, получим следующее равенство: $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{\upsilon}_s t'$.

Спроецировав это выражение на координатные оси с учетом равенства $t = t'$, получим формулы для координат точки и времени при переходе от подвижной системы отсчета S' к неподвижной S

$$x = x' + \upsilon_s t',\ y = y',\ z = z',\ t = t'.$$

Формулы обратного перехода будут иметь вид:

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{\upsilon}_s t, \quad t' = t$$

или

$$x' = x - \upsilon_s t,\ y' = y,\ z' = z,\ t' = t.$$

Соотношения, которые служат для преобразования координат точки и времени при переходе от подвижной системы отсчета S' к неподвижной S и наоборот, называются преобразованиями Галилея.

К началу XX в. преобразования Галилея считались очевидными и приемлемыми для любых скоростей и систем отсчета.

Это соответствовало господствовавшим в то время ньютоновским представлениям о существовании абсолютного пространства и времени независимо друг от друга, а также от материальных тел.

Поэтому к формулам преобразований координат добавляется формула, утверждающая равенство времени в обеих системах.

Из равенства $t' = t$ следует, что продолжительность и одновременность событий также носят абсолютный характер.

Два события, одновременные в системе S, будут одновременными и в системе S'.

Продолжительность событий (или интервал времени между событиями) также одинакова $\Delta t' = \Delta t$.

Преобразования Галилея ют идею абсолютного пространства, согласно которой линейные размеры не изменяются при переходе от одной инерциальной системы к другой.

Рассмотрим преобразования других физических величин и формулировки законов механики в рассматриваемых системах отсчета.

Найдем скорость υ материальной точки в системе S, если в системе S' она имеет скорость υ' .

Продифференцировав обе части выражения $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{\upsilon}_s t'$ по времени t , имеем:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \vec{\upsilon}_s \frac{dt'}{dt}.$$

С учетом равенства интервалов времени $dt' = dt$ получим следующую связь между скоростями точки в разных системах, которая называется законом сложения скоростей в классической механике:

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}' + \vec{\upsilon}_s.$$

Скорость материальной точки относительно неподвижной системы отсчета равна векторной сумме скорости этой точки относительно подвижной системы и скорости самой подвижной системы.

Для удобства рассмотрения движений относительно неподвижной и подвижной систем отсчета вводят следующую терминологию.

Скорость материальной точки относительно неподвижной системы отсчета $\vec{\upsilon}$ называется абсолютной, относительно подвижной системы:

$\vec{\upsilon}'$ — относительной, а скорость самой подвижной системы относительно неподвижной:

$\vec{\upsilon}_s$ — переносной.

Отметим, что данная терминология является условной.

Таким образом, закон сложения скоростей, который используется при рассмотрении сложных движений в классической механике, следует из преобразований Галилея.

Найдем ускорение $\vec{a}$ материальной точки в системе S, если в системе S' ее ускорение $\vec{a}'$.

Для этого продифференцируем по времени соотношение

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}' + \vec{\upsilon}_s \ :$$

$$\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{d\vec{\upsilon}'}{dt} + \frac{d\vec{\upsilon}_s}{dt}$$

Если система S' движется относительно S равномерно и прямолинейно, то $d\vec{\upsilon}_s / dt = 0$.

С учетом этого получим $\vec{a} = \vec{a}'$.

Таким образом, мы пришли к выводу, что ускорение материальной точки не изменяется при переходе от одной инерциальной системы отсчета (ИСО) к другой.

Из последнего равенства следует неограниченность количества инерциальных систем отсчета.

На самом деле, если точка движется равномерно и прямолинейно в системе S, то и в системе S' она сохраняет равномерное и прямолинейное движение.

Иначе говоря, система S' , которая движется равномерно и прямолинейно относительно инерциальной системы S , также будет инерциальной.

Это означает, что если существует хотя бы одна инерциальная система отсчета, то существует бесконечное множество таких систем.

Тот, кто склонен противоречить и много болтать,
не способен изучить то, что нужно.
Демокрит

Рассмотрим теперь форму записи основного закона динамики в разных инерциальных системах.

В классической механике постулируется, что во всех системах отсчета масса тела одинакова и не зависит от скорости его движения:

$$m = m' .$$

Сила как мера взаимодействия тел в общем случае может зависеть от расстояния между телами (или частями тел), относительной скорости движения взаимодействующих тел и времени.

Расстояние и время не изменяются при переходе от одной инерциальной системы к другой.

Не изменяется и скорость движения тел относительно друг друга.

Значит, во всех инерциальных системах отсчета силы взаимодействия между телами принимают одно и то же значение:

$$\vec{F} = \vec{F}' \ .$$

Поскольку все величины, которые входят во второй закон Ньютона, остаются неизменными при переходе от одной инерциальной системы к другой, то и его аналитическое выражение сохраняется.

Физические величины, значения которых не изменяются при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, называют инвариантными (масса, сила, ускорение и др.).

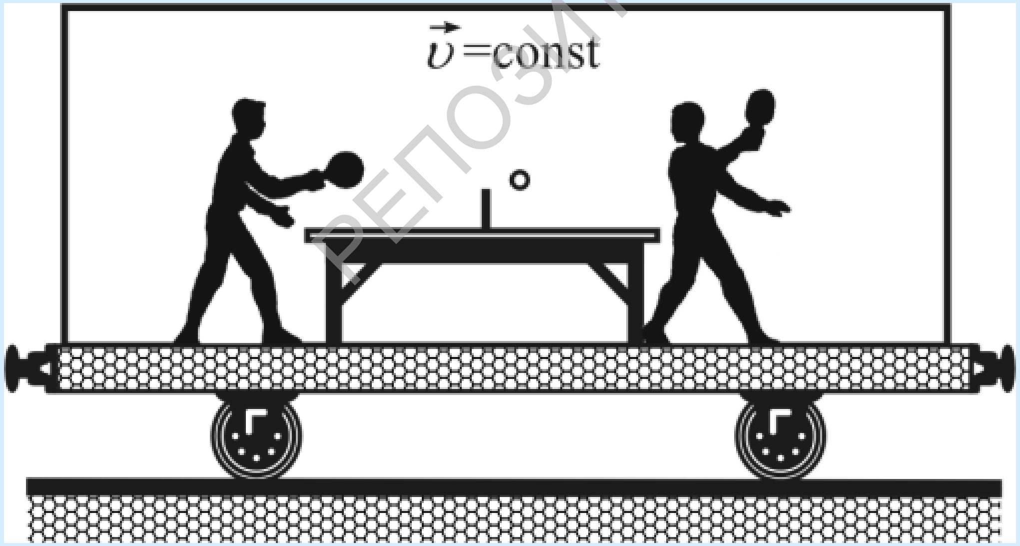
Если значения физической величины в различных инерциальных системах отсчета не совпадают, то такая физическая величина называется относительной (скорость, координата, импульс и др.).

Как видно, во всех системах отсчета, движущихся друг относительно друга равномерно и прямолинейно, законы Ньютона справедливы в полученных нами ранее формулировках.

Другими словами, законы динамики инвариантны по отношению к преобразованиям Галилея.

Принцип относительности Галлилея

На основе обобщения огромного объема экспериментальной информации и теоретического анализа механических явлений основатель точного естествознания Галилео Галилей сформулировал фундаментальный физический принцип, впоследствии названный классическим принципом относительности или принципом Галилея.



В соответствии с этим принципом все механические явления при одинаковых начальных условиях во всех инерциальных системах отсчета происходят одинаково, иными словами, равномерное прямолинейное движение системы отсчета не влияет на механические явления, происходящие в ней.

Это означает, что никакими физическими опытами, проведенными внутри инерциальной системы отсчета, нельзя обнаружить, находится система в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения.

Как бы мало не было достигнутое – это приобретение

Пьер Кюри