

ЕГЭ. ФИЗИКА
РЕПЕТИЦИЯ ПО ФИЗИКЕ
Владимир Петрович Сафронов
г. Ростов-на-Дону, 2015
Звоните: т. 8 928 111 7884
Пишите: safron-47@mail.ru

ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ (СТО)

раздел механики, в котором изучается движение тел, чьи скорости соизмеримы со скоростью света.

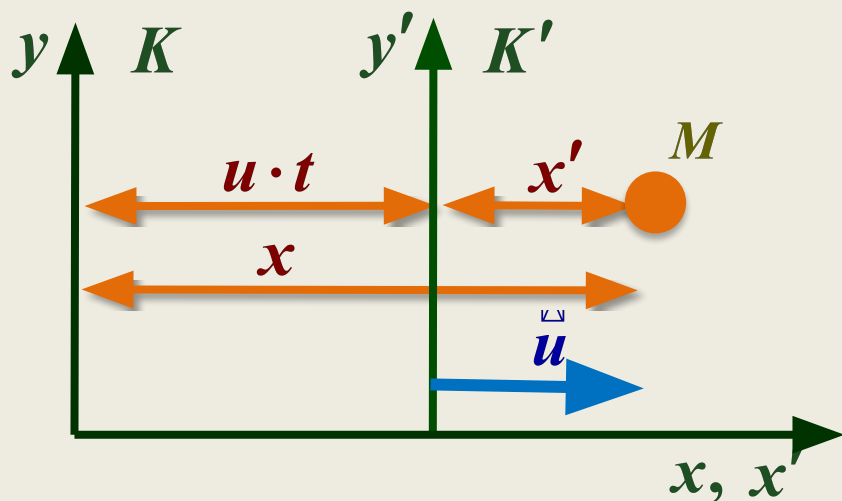
5.1. Принцип относительности Галилея

Преобразования Галилея

Рассмотрим преобразования координат материальной точки M и времени t

при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.

Система K' движется вдоль оси Ox инерциальной системы K с постоянной скоростью $u = \text{const}$, причем при $t = 0$ координаты точки M совпадают в обеих системах отсчета $x = x'$.



Галилей и Ньютон считали, что время в любой инерциальной системе отсчета идет одинаково $t = t'$.

$$\left\{ \begin{array}{l} x = x' + ut' \\ y = y' \\ t = t' \end{array} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \vec{r} = \vec{r}' + \vec{u} \cdot t' \\ t = t' \end{array} \right\}$$

Преобразования Галилея позволяют переходить в классической механике от одной инерциальной системы к другой.

Следствие 1

Дифференцируем полученное соотношение $\vec{r} = \vec{r}' + \vec{u} \cdot t'$ по времени t

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \vec{u} \cdot \frac{dt'}{dt}, \text{ учитывая } t = t' \Rightarrow \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt'} + \vec{u} \cdot \frac{dt'}{dt'}$$

получили **закон преобразования скоростей** Галилея при переходе из одной инерциальной системы в другую:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}.$$

Скорость — относительная величина и зависит от выбора системы отсчета.

Следствие 2

Дифференцируем закон **преобразования скоростей** по времени t

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d\vec{u}}{dt}, \text{ учитывая } t = t' \text{ и } \vec{u} = \text{const}, \quad \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt'}$$

получаем **закон преобразования ускорений**

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

Ускорение не зависит от выбора инерциальной системы отсчета.

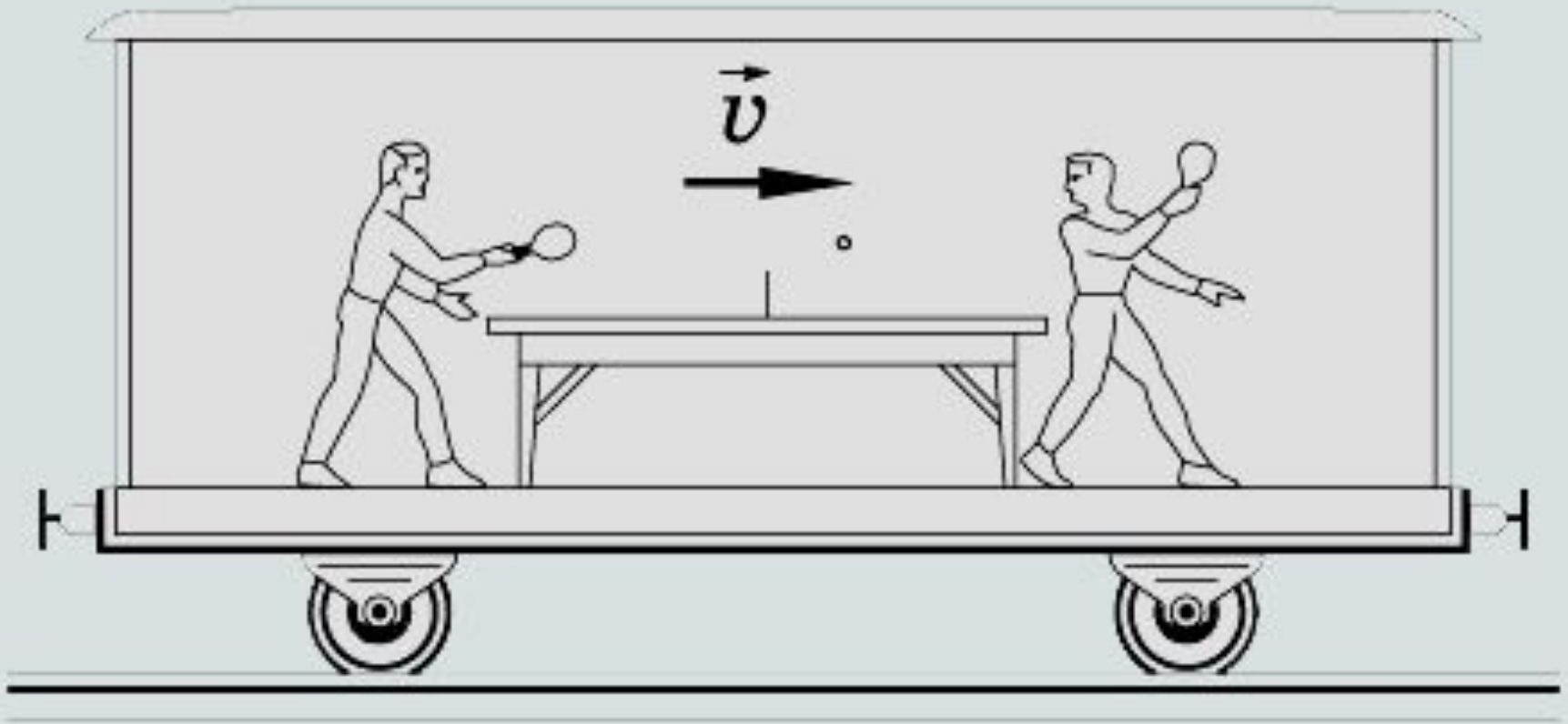
Следовательно, сила взаимодействия $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$

одинакова в любой инерциальной системе отсчета,

если считать, что масса одинакова во всех системах отсчета $m = m'$.

Принцип относительности Галилея.

Механические явления протекают одинаково,
а законы механики имеют одинаковый вид
в любой инерциальной системе отсчета.



1564 - 1642

Принцип относительности Эйнштейна

В классической механике предполагается, что взаимодействие между телами осуществляется мгновенно, а, следовательно, время во всех системах отсчета идет одинаково $t = t'$.

Это допущение приводит к классическим преобразованиям Галилея.

Однако опыт показывает, что мгновенных взаимодействий не существует.

Значит, есть процесс, осуществляющийся с максимальной скоростью, быстрее которой материальные объекты двигаться не могут.

Таким процессом является **распространение света в вакууме**.

Скорость света в вакууме

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

◆ Принцип относительности Эйнштейна

Первый постулат

В любых инерциальных системах отсчета все физические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково. Физические законы имеют одинаковый вид в любой инерциальной системе отсчета.

Второй постулат (принцип инвариантности скорости света)

Скорость света в вакууме не зависит от скорости источника или приемника света.

Принцип постоянства скорости света противоречит классической механике, а конкретно — закону сложения скоростей.

Замедление времени

Эти постулаты привели к изменению классических представлений о времени и пространстве. На их основе Эйнштейном была создана релятивистская (относительная) механика процессов, происходящих со скоростями, близкими к скорости света.

СЭМ ВИДИТ, что время у Джона идет медленнее.




Относительность длин (расстояний)

Длина тела зависит от скорости его движения. Длина тела в системе отсчета, где тело покоится l_0 , называется **собственной длиной** и является наибольшей.

Линейный размер тела, движущегося в инерциальной системе отсчета, **уменьшается в направлении движения:**

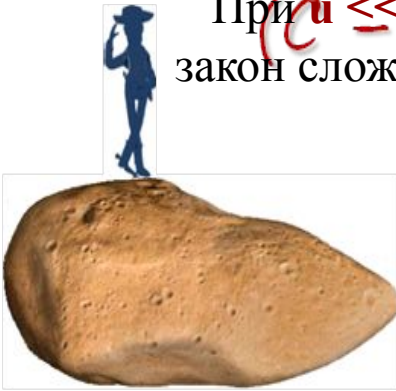
$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$



Закон сложения скоростей в релятивистской механике:


$$v_x = \frac{v'_x + u}{1 + uv'_x / c^2}, \quad v_y = \frac{v'_y \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + uv'_x / c^2}, \quad v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + uv'_x / c^2}$$

→



При $(u \ll c)$ релятивистское преобразование переходит в закон сложения скоростей классической механики Ньютона:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$$



Fußball - Längenkontraktion bei 0,9 c
Ute Kraus (2006). www.tempolimit-lichtgeschwindigkeit.de

Энергия свободной движущейся частицы:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Энергия покоя свободной частицы:

$$E_0 = mc^2.$$

Импульс частицы:

$$\mathbf{p} = \frac{m\mathbf{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

Выражение полной энергии через импульс:

$$E^2 = E_0^2 + p^2 c^2.$$

Если частица не имеет энергии покоя (фотон $E_0 = 0$), то

$$E = pc.$$

Эти эффекты заметны лишь при скоростях близких к скорости света.

Вывод релятивистской энергии тела

Энергия тела растет за счет работы внешней силы

$$dE = dA.$$

$$dE = \vec{F} d\vec{r} = \frac{d\vec{p}}{dt} d\vec{r} = \frac{d\vec{r}}{dt} d\vec{p} = \vec{v} d\vec{p} = \vec{v} (m d\vec{v} + \vec{v} dm) = m\vec{v} d\vec{v} + v^2 dm \Rightarrow$$

$$dE = dm \left(\frac{m}{dm} \vec{v} d\vec{v} + v^2 \right) \Rightarrow dm - ?$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{m_0}{(1 - v^2/c^2)^{1/2}} \Rightarrow dm = d \left(\frac{m_0}{(1 - v^2/c^2)^{1/2}} \right) = \frac{m_0 v dv}{(1 - v^2/c^2)^{3/2} c^2}$$

$$dE = dm \left(\frac{m_0 v dv (1 - v^2/c^2)^{3/2} c^2}{m_0 v dv (1 - v^2/c^2)^{1/2}} + v^2 \right) = dm \left((1 - v^2/c^2) c^2 + v^2 \right) = dm (c^2 - v^2 + v^2) = c^2 dm = dE$$

$$E = \int_0^m dE = \int_0^m c^2 dm \Rightarrow E = mc^2.$$



КОНЕЦ "СТО"