



МЕХАНИКА

Лекция 3

Законы Ньютона – постулаты
являются обобщением большого количества
опытных данных

Для случая для малых скоростей ($v \ll c$) и макротел

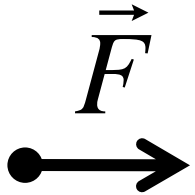
Первый закон Ньютона

**Всякому телу свойственно сохранять состояние
равномерного прямолинейного движения или
покоя, пока и поскольку другие тела не вынудят его
изменить это состояние**

Второй закон Ньютона

m

Масса - количественная мера инертности тела



Сила – количественная мера воздействия одного тела на другое

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_k}{m}$$

**Ускорение тела прямо
пропорционально
равнодействующей всех сил,
приложенных к телу, и обратно
пропорционально массе тела**

Второй закон Ньютона

в импульсной форме

$$\begin{aligned}\vec{a} &= \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \Rightarrow \quad m \cdot d\vec{v} = \vec{F} \cdot dt \quad \Rightarrow \\ \Rightarrow \quad d(m \cdot \vec{v}) &= \vec{F} \cdot dt \quad \Rightarrow \quad d\vec{p} = \vec{F} \cdot dt\end{aligned}$$

$\vec{F} \cdot \Delta t$ - импульс силы

$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ - импульс тела

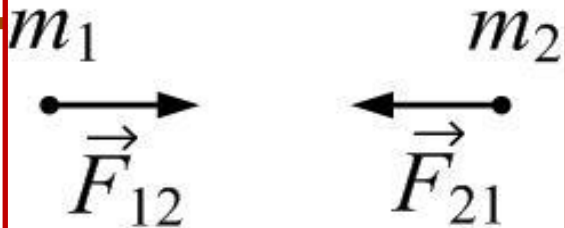
$$\Delta\vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

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

Изменение импульса тела равно
импульсу действовавшей на тело силы

Третий закон Ньютона

Всякое действие тел друг на друга носит характер
ВЗАИМОдействия



$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

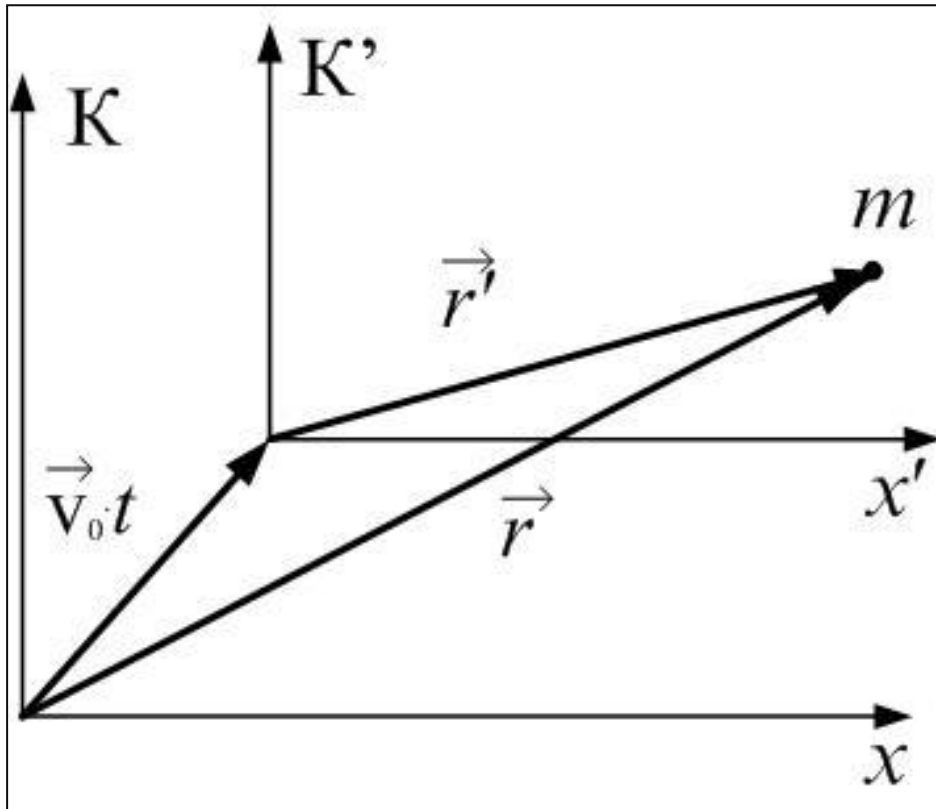
Силы, с которыми тела действуют друг на друга, равны по величине и противоположны по направлению

Если система двух тел замкнута, по второму закону Ньютона:

$$\begin{cases} d\vec{p}_1 = \vec{F}_{12} \cdot dt \\ d\vec{p}_2 = \vec{F}_{21} \cdot dt \end{cases} \Rightarrow d(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = (\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21}) \cdot dt = 0$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = const$$

Принцип относительности Галилея



$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{V}_0 \cdot t$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \vec{V}_0 \cdot \frac{dt}{dt}$$

$$\vec{V} = \vec{V}' + \vec{V}_0$$

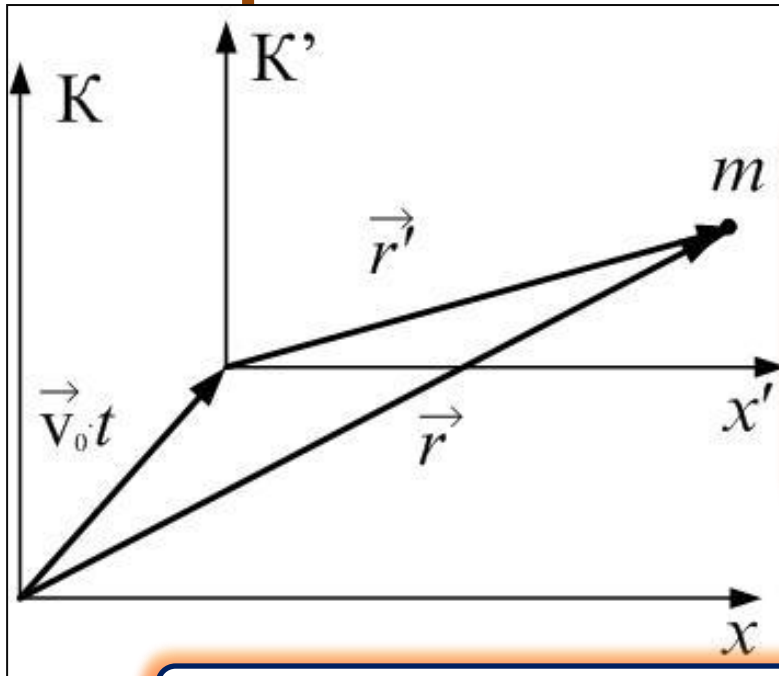
$$\vec{v}_{абс.} = \vec{v}_{отн.} + \vec{v}_{пер.}$$

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d\vec{V}'}{dt} + 0$$

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

**Все инерциальные системы отсчёта эквивалентны.
Законы динамики инвариантны относительно
преобразований Галилея**

Принцип относительности Галилея



$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{V}_0 \cdot t$$

$$\begin{cases} x = x' + v_0 \cdot t \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases}$$

Преобразования
Галилея

Второй закон Ньютона для неинерциальных систем отсчёта:

В системе K:

$$m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i^{\text{внеш.}}$$

В системе K', движущейся с ускорением $\vec{a}_0 = \text{const}$, вводится сила инерции

$$\vec{F}_u = -m\vec{a}_0$$

Уравнение движения:

$$m\vec{a}' = \sum_i \vec{F}_i^{\text{внеш.}} + \vec{F}_u = \sum_i \vec{F}_i^{\text{внеш.}} - m\vec{a}_0$$

Виды сил

В природе существует 4 вида фундаментальных взаимодействий:

- **Гравитационное**
- **Электромагнитное**
- **Сильное** (ядерные силы)
- **Слабое** (превращения элементарных частиц)

Все виды сил (трения, упругости, вязкости, поверхностного натяжения и т.д.) – это проявления фундаментальных взаимодействий

Закон всемирного тяготения

$$F_{\text{тяг.}} = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

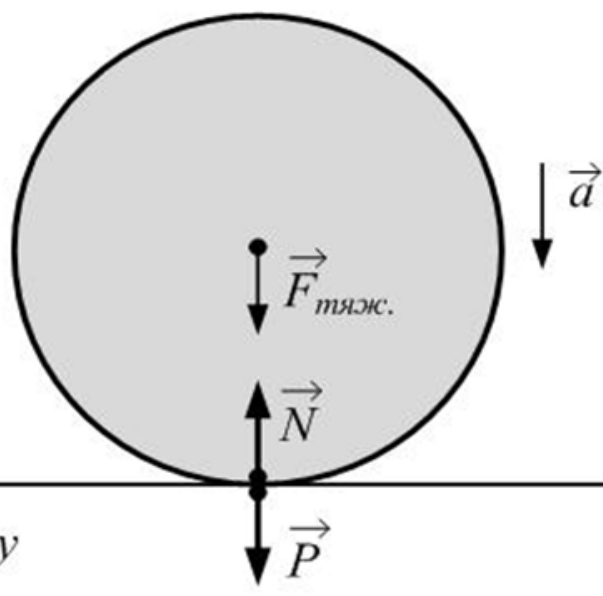
Сила тяжести

$$F_{\text{тяж.}} = mg = \gamma \frac{M \cdot m}{(R + h)^2}$$

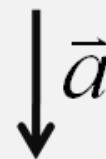
Вес тела

$$\vec{P} = -\vec{N} = -(m\vec{a} - m\vec{g}) = m(\vec{g} - \vec{a})$$

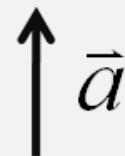
$$m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$$



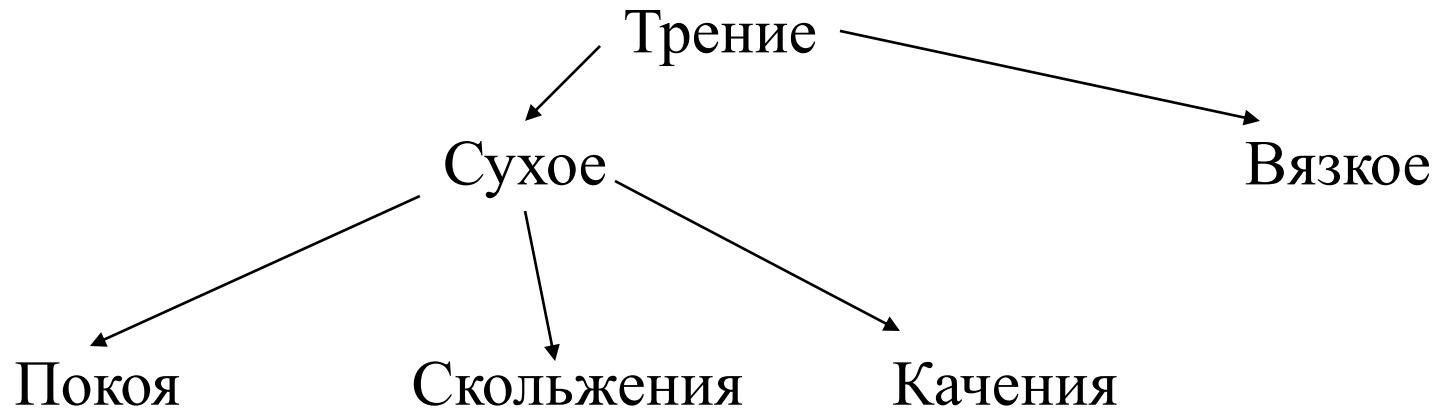
$$P = m(g - a)$$



$$P = m(g + a)$$

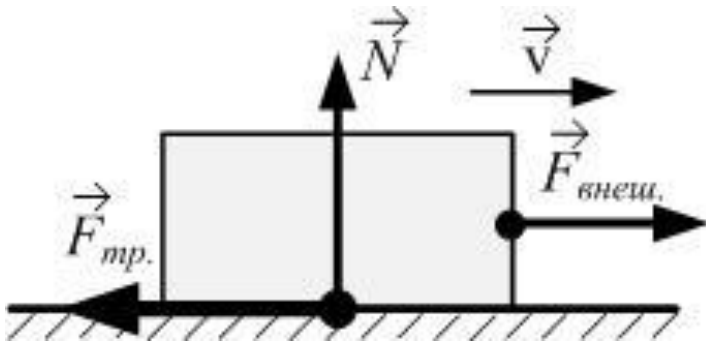


Сила трения



$$0 \leq F_{тр.покоя} \leq \mu N$$

$$F_{тр.} = \mu N$$



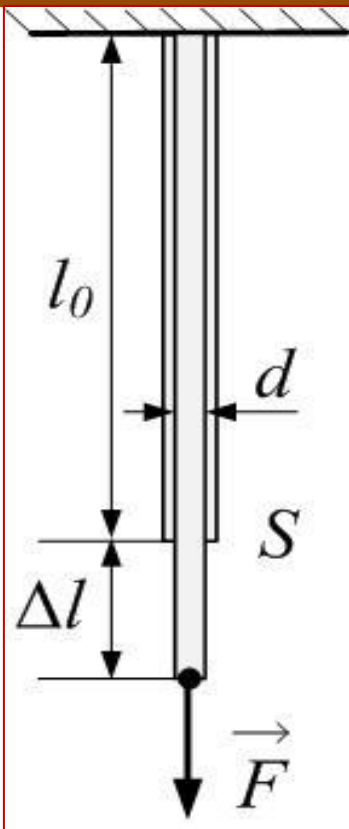
Сила упругости

Деформация

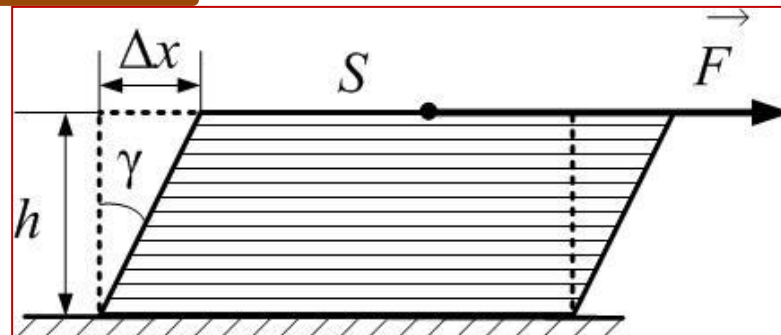
Деформация тела называется упругой, если после снятия нагрузки тело возвращается к первоначальным размерам и форме (можно пренебречь остаточной деформацией).

При неупругой деформации происходит разрыв некоторых межмолекулярных связей и образование связей между другими молекулами, в результате чего изменённая форма тела сохраняется и после снятия нагрузки

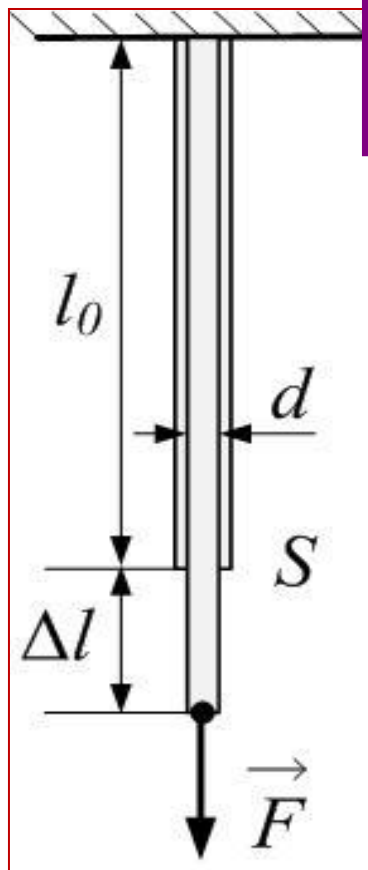
Сжатия-растяжения



Сдвига



Деформация сжатия-растяжения



$$\sigma = \frac{F}{S}$$

$$\sigma = \frac{dF}{dS}$$

Нормальное механическое напряжение

$$[\sigma] = \frac{H}{m^2} = Pa$$

$$\varepsilon_{||} = \frac{\Delta l}{l}$$

Относительная продольная деформация

$$[\varepsilon] = 1$$

Закон Гука в локальной форме

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_{||}$$

E - модуль Юнга

$$[E] = \frac{H}{m^2} = Pa$$

$$F = \sigma \cdot S = E \cdot \varepsilon_{||} \cdot S = E \cdot \frac{\Delta l}{l} \cdot S = \frac{ES}{l} \Delta l = k \cdot \Delta l$$

\Rightarrow

$$k = \frac{ES}{l}$$

Экспериментальная зависимость механического напряжения от относительной продольной деформации

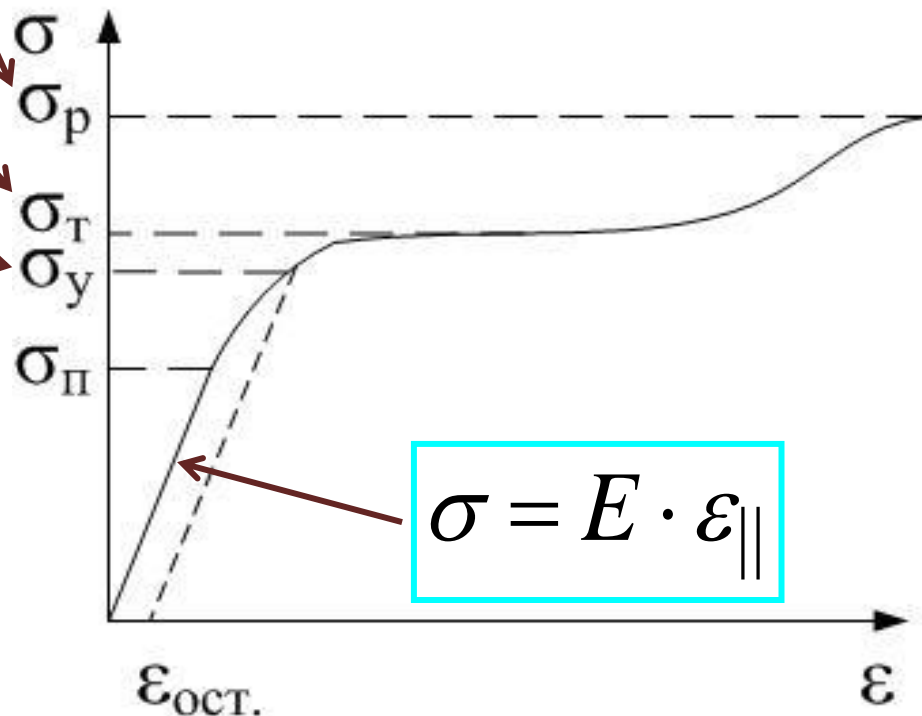
Пределы:

Прочности

Текучности

Упругости

Пропорциональности



Закон Кулона

Закон взаимодействия точечных зарядов – **закон Кулона**:

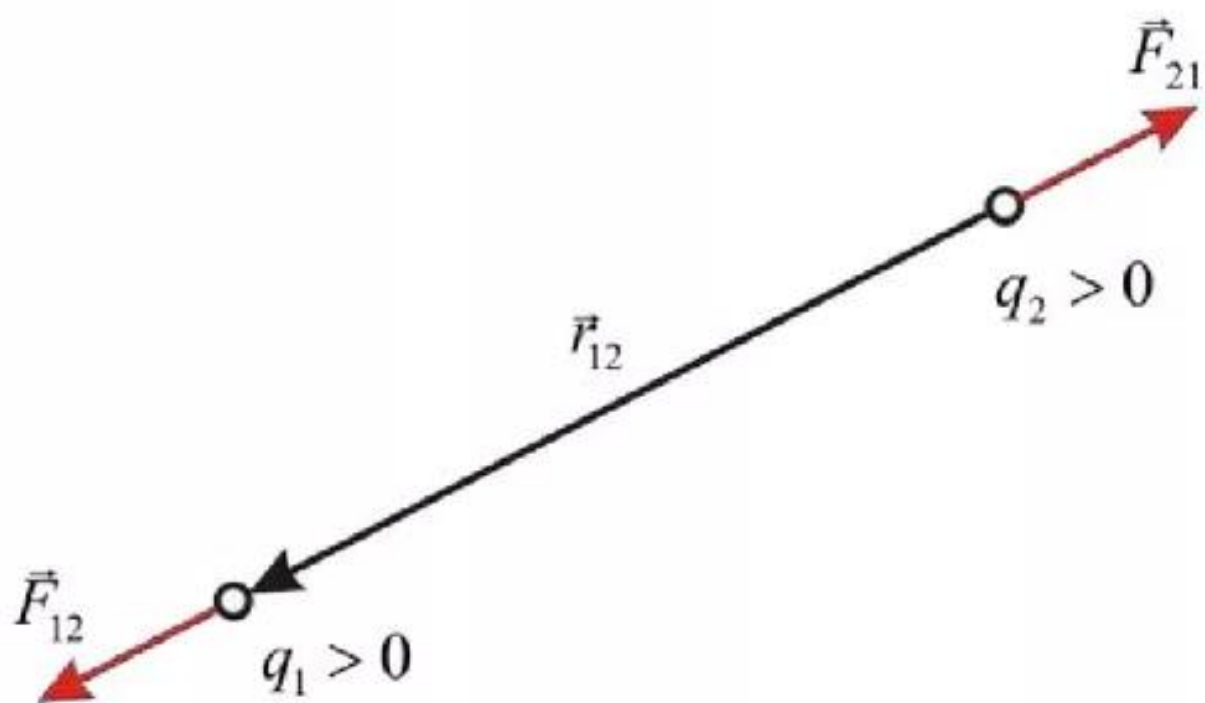
сила взаимодействия F между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, пропорциональна зарядам q_1 и q_2 , и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная, относящаяся к числу фундаментальных физических постоянных: $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}}$.

В векторной форме, сила, действующая на заряд q_1 со стороны заряда q_2 :

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \frac{\vec{r}_{12}}{r}$$



Закон Ампера

На прямолинейный участок длиной dl проводника с током I , находящийся в магнитном поле, действует сила, равная

$$d\vec{F} = I \cdot [d\vec{l}, \vec{B}]$$

или

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \sin \alpha$$

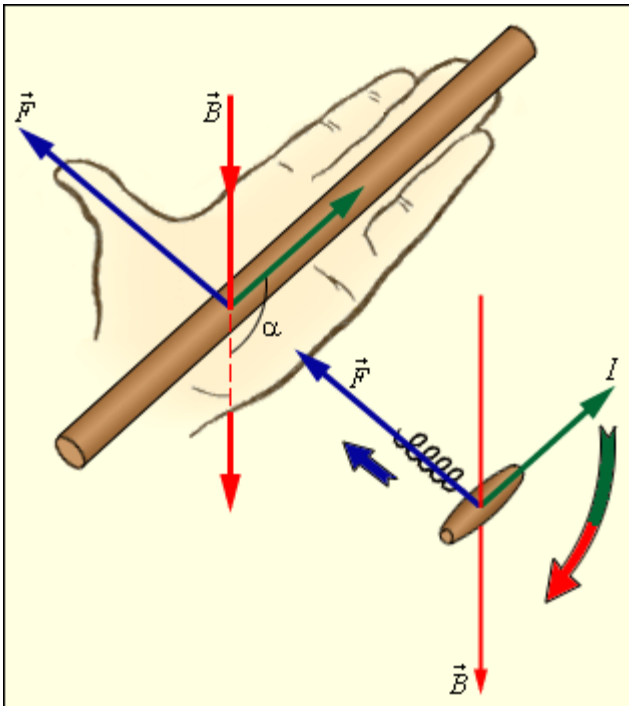
I - сила тока в проводнике;

B - модуль вектора индукции магнитного поля;

L - длина проводника, находящегося в магнитном поле;

α - угол между вектором магнитного поля и направлением тока в проводнике.

Силу, действующую на проводник с током в магнитном поле, называют силой Ампера.



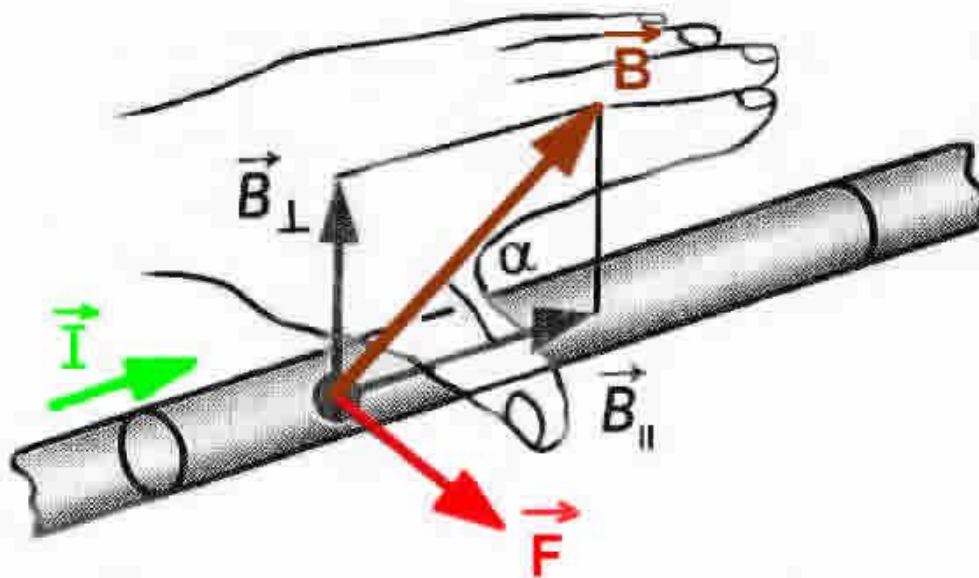
Максимальная сила Ампера равна:

$$F = I \cdot L \cdot B$$

Ей соответствует $\alpha = 90^\circ$.

Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки: если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная составляющая вектора магнитной индукции \vec{B} входила в ладонь, а

четыре вытянутых пальца были направлены по направлению тока, то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление силы, действующей на отрезок проводника с током, то есть силы Ампера.



Сила Лоренца

Зная закон Ампера, можно получить выражение для силы, с которой магнитное поле действует на движущийся заряд.

Пусть n – число упорядоченно движущихся электронов в единице объема проводника

V - скорость движущихся электронов

S – площадь сечения проводника

$$n \cdot \Delta V = N$$


Тогда $I = n \cdot e \cdot V \cdot S = j \cdot S$,

а элемент тока $I \cdot dl = j \cdot S = n \cdot e \cdot V \cdot S \cdot dl = N \cdot e \cdot V$

N - число упорядоченно движущихся электронов в объеме участка тока.

На 1 заряд действует сила

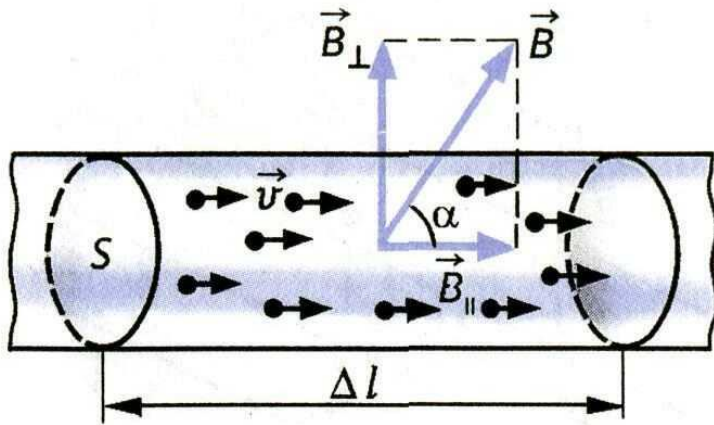
$$\frac{dF}{N} = \frac{1}{N} (I \cdot dl \cdot B \cdot \sin \alpha) = \frac{B \cdot N \cdot e \cdot v \cdot \sin \alpha}{N} = e \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

или в векторной записи

$$\vec{F} = [e \cdot \vec{v} \cdot \vec{B}]$$

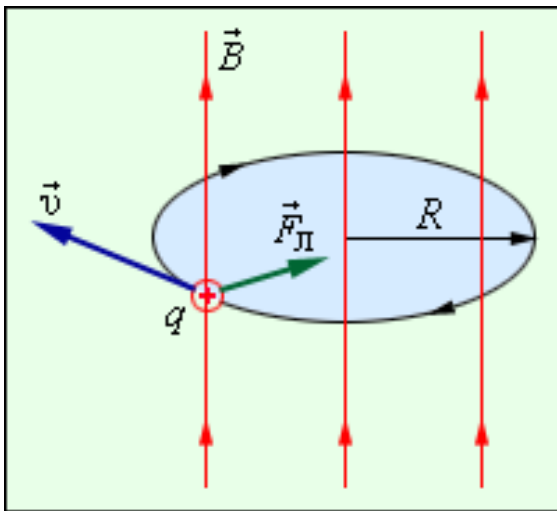
Сила Лоренца

Сила Лоренца



Направление силы Лоренца зависит от знака заряда и перпендикулярна к плоскости, в которой лежат вектора \vec{v} и \vec{B}

Обратите внимание, что сила Лоренца перпендикулярна скорости и поэтому она не совершает работы, не изменяет модуль скорости заряда и его кинетической энергии. Но направление скорости изменяется непрерывно



направление силы Лоренца определяется с помощью того же правила левой руки, что и направление силы Ампера: если левую руку расположить так, чтобы составляющая магнитной индукции B , перпендикулярная скорости заряда, входила в ладонь, а четыре пальца были направлены **по движению положительного заряда** (против движения отрицательного), то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление действующей на заряд силы Лоренца F_L .

Если имеются одновременно электрическое и магнитное поля, то на заряд действует сила


$$\vec{F} = q\vec{E} + \cdot q \cdot [\vec{V} \cdot \vec{B}]$$

Пусть два одноименных точечных заряда q_1 и q_2 движутся вдоль параллельных прямых со скоростью $V \ll c$. Сравним силы, действующие на заряды со стороны электрического $F_{эл}$ и магнитного $F_{магн}$ полей.

$$F_{эл1} = F_{эл2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$F_{магн}$ действующая на заряд q_1

$$F_{магн} = q_1 \cdot V \cdot B_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_1 q_2 V^2}{r^2}$$



$$B_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q [\vec{V} \cdot \vec{r}]}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_2 V}{r^2}$$

Отношение магнитной силы к электрической будет:

$$\frac{F_m}{F_\varepsilon} = \frac{\frac{\mu_0 q_1 q_2 V^2}{4\pi r^2}}{\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}} = \varepsilon_0 \mu_0 V^2 = \frac{V^2}{C^2}$$

то есть магнитная сила слабее кулоновской силы на множитель, пропорциональный V^2/C^2

Таким образом, магнитное взаимодействие между движущимися зарядами является релятивистским эффектом (как следствие закона Кулона). Магнетизм исчез бы, если бы скорость света приблизилась к бесконечности. Он отсутствует у неподвижных зарядов ($V=0$).

Электрическое и магнитное поля неразрывно связаны друг с другом, и образуют единое электромагнитное поле.

Значение величины μ_0 содержится в определении силы Ампера :

1Ампер=1А это сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1м друг от друга в вакууме, вызывал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

Величину μ_0 – называют магнитной постоянной, а также магнитной проницаемостью вакуума.

Произведение $\mu \cdot \mu_0$ - абсолютная магнитная проницаемость данной среды.

Относительной магнитной проницаемостью данной среды по отношению к вакууму называют безразмерную величину μ , которая показывает во сколько раз сила, действующая на движущиеся заряды и проводники с током в данной среде больше, чем в вакууме.