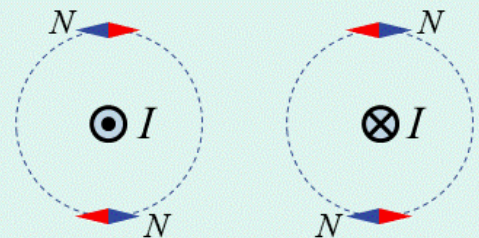
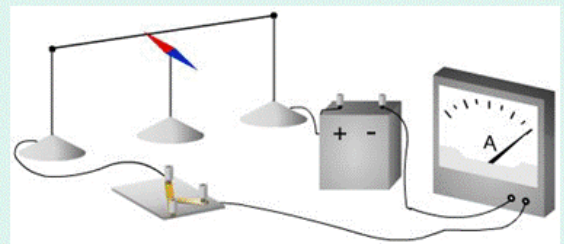
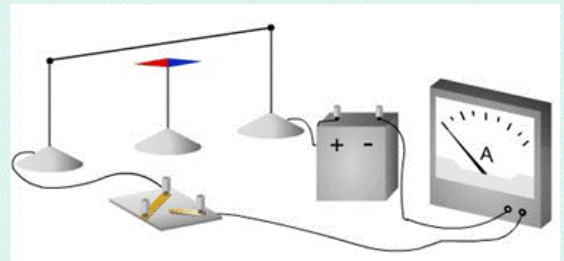




Над магнитной стрелкой параллельно ей располагался прямолинейный металлический проводник.

При пропускании через него электрического тока стрелка поворачивалась перпендикулярно проводнику.

При изменении направления тока или при переносе провода под стрелку она разворачивалась на  $180^\circ$ .



В опыте Эрстеда впервые было замечено действие проводника с током на магнитную стрелку компаса, что указывало на связь между электрическими и магнитными явлениями.



Согласно современным представлениям, ориентирующее действие на магнитную стрелку оказывает магнитное поле, возникающее в пространстве вокруг проводника с током.

Движущийся электрический заряд создает не только электрическое, но и *магнитное поле*.

Магнитное поле оказывает силовое действие на движущийся электрический заряд (на проводники с током и тела, обладающими магнитным моментом).

Основной силовой характеристикой магнитного поля в данной точке является *вектор магнитной индукции  $\vec{B}$* .

Определение  $\vec{B}$  введем, показав, что сила взаимодействия 2-х движущихся зарядов представляется как суперпозиция двух составляющих: электрической и магнитной.



Рассмотрим взаимодействие точечных зарядов  $q$  и  $q_0$  в двух ИСО: в  $K'$  заряды неподвижны, а относительно  $K$  они движутся с равными скоростями:

$$\vec{v} = \vec{v}_0, \quad (11.1)$$

где  $\vec{v}_0 \parallel O'x$  – скорость поступательного движения  $K'$  относительно  $K$ .

Т. к.  $\vec{r}' \perp \vec{v}_0$ , то из преобразований Лоренца:

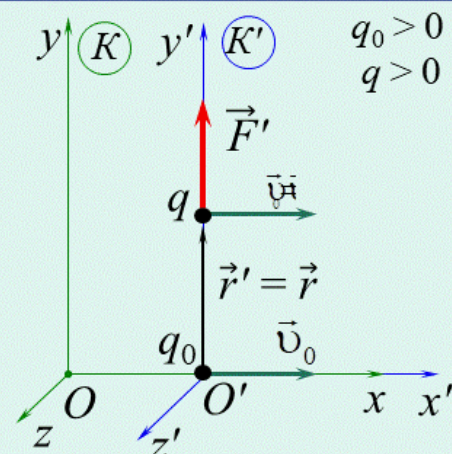
$$\vec{r}' = \vec{r},$$

где  $\vec{r}'$  и  $\vec{r}$  – соответственно радиус-вектор заряда  $q$  относительно  $q_0$  в  $K'$  и  $K$ .

В  $K'$  на  $q$  со стороны заряда  $q_0$  действует сила Кулона (9.12):

$$\vec{F}' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q q_0 \vec{r}'}{|\vec{r}'|^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q q_0 \vec{r}}{r^3}, \quad (11.2)$$

которая при переходе в систему  $K$  согласно закону преобразования силы в специальной теории относительности равна:





$$\vec{F} = \vec{F}' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

С учетом (11.2):

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q q_0 \vec{r}}{r^3} \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

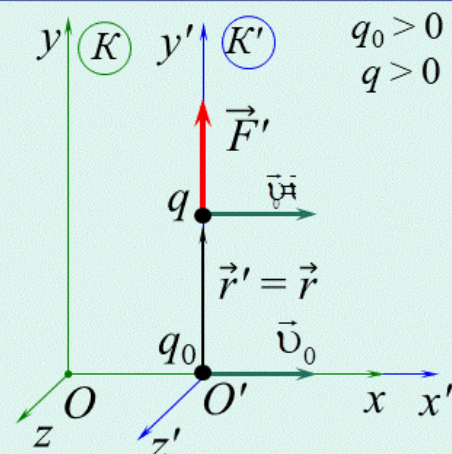
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q q_0 \vec{r}}{r^3 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right),$$

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q q_0 \vec{r}}{r^3 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0 c^2} \cdot \frac{q q_0 v^2 \vec{r}}{r^3 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (11.3)$$

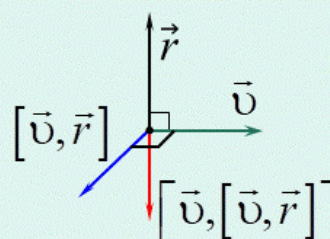
Учтем следующее:

$$\frac{1}{\epsilon_0 c^2} = \mu_0 \quad (11.4)$$

– магнитная постоянная  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;







$$-v^2 \vec{r} = [\vec{v}, [\vec{v}, \vec{r}]]. \quad (11.5)$$

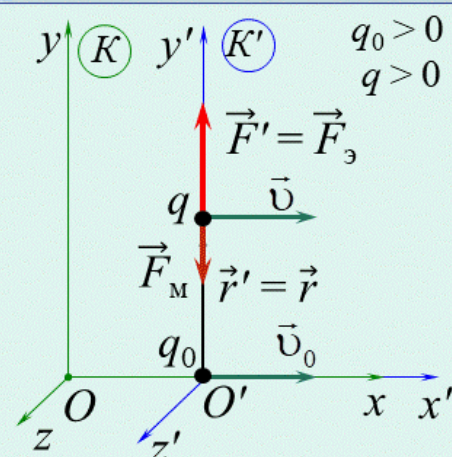
(11.4) и (11.5)  $\rightarrow$  в (11.3) и для случая малых скоростей ( $v \ll c$ ) получим:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q q_0 \vec{r}}{r^3} + \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q q_0 [\vec{v}, [\vec{v}, \vec{r}]]}{r^3}. \quad (11.6)$$

Т. о., сила  $\vec{F}$  (*сила Лоренца*), с которой движущийся заряд  $q_0$  действует на движущийся заряд  $q$ , представляется в виде двух составляющих – электрической и магнитной:

$$\vec{F}(\vec{r}) = \vec{F}_э(\vec{r}) + \vec{F}_м(\vec{r}), \quad (11.7)$$

где



электрическая составляющая силы Лоренца:

$$\vec{F}_э(\vec{r}) = q \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_0 \vec{r}}{r^3} = q \cdot \vec{E}(\vec{r}),$$

где по (9.18):

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_0 \vec{r}}{r^3}$$

– напряженность электрического поля точечного заряда  $q_0$  в точке  $\vec{r}$ ;

магнитная составляющая силы Лоренца (с учетом (11.1)):

$$\vec{F}_м(\vec{r}) = q \cdot \left[ \vec{v}, \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_0 [\vec{v}_0, \vec{r}]}{r^3} \right] = q \cdot [\vec{v}, \vec{B}(\vec{r})], \quad (11.8)$$

$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_0 [\vec{v}_0, \vec{r}]}{r^3} \quad (11.9)$$

– **вектор индукции магнитного поля**, создаваемого движущимся со скоростью  $\vec{v}_0$  точечным зарядом  $q_0$ , в точке с радиус-вектором  $\vec{r}$ , проведенным от этого заряда в данную точку.



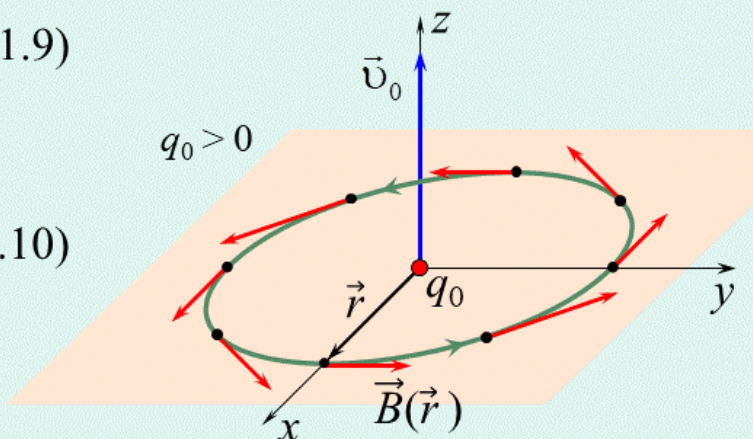
$$\vec{B}(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q_0 [\vec{v}_0, \vec{r}]}{r^3} \quad (11.9)$$

Модуль магнитной индукции:

$$B(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{|q_0| \cdot v_0 \cdot \sin \alpha}{r^2}, \quad (11.10)$$

где  $\alpha$  – угол между  $\vec{v}_0$  и  $\vec{r}$ .

В СИ  $[B] = \text{Тл}$ .



Линия, касательная к которой в каждой точке содержит вектор  $\vec{B}$ , называется **силовой линией магнитного поля**.

Силовые линии любого магнитного поля замкнуты.

**Магнитостатика** – раздел электромагнетизма, изучающий магнитные поля, создаваемые постоянными токами или постоянными магнитами.