

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И

МАГНЕТИЗМ

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

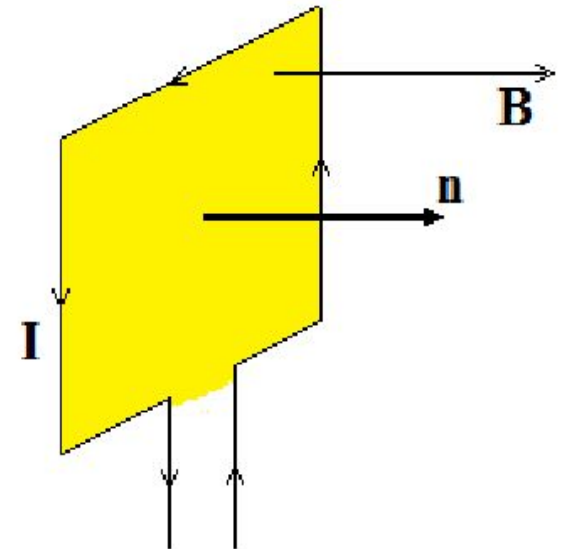
1. Магнитное поле и его свойства
2. Магнитная индукция. Магнитный момент рамки с током
3. Магнитное поле тока. Закон Био—Савара—Лапласа
4. Применение закона Био—Савара—Лапласа к расчёту простейших магнитных полей
5. Действие магнитного поля на ток. Закон Ампера. Взаимодействие параллельных токов
6. Действие магнитного поля на движущийся заряд. Сила Лоренца. Циклотрон. Масс-спектрометр

Магнитное поле и его свойства

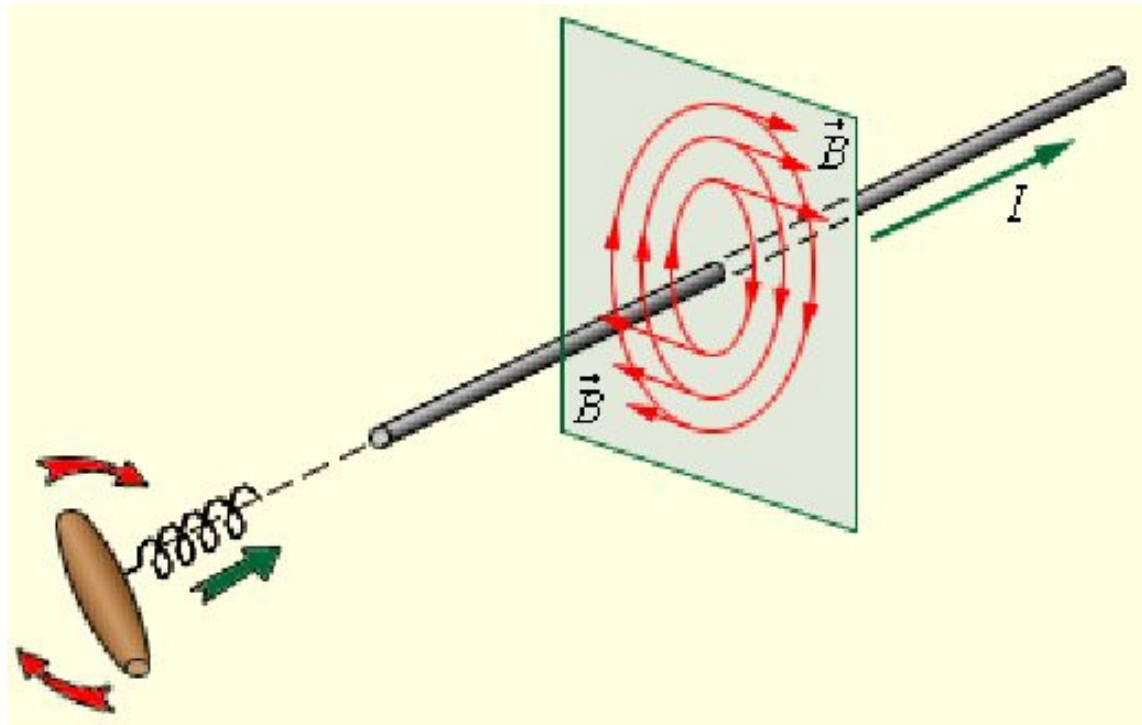
- Источниками магнитного поля являются движущиеся электрические заряды (токи) и постоянные магниты, в том числе и Земля.
- Магнитное поле является вихревым (силовые линии магнитного поля замкнуты).
- Магнитное поле оказывает силовое действие только на движущиеся заряды (токи).
- Изолированных магнитных зарядов не существует.

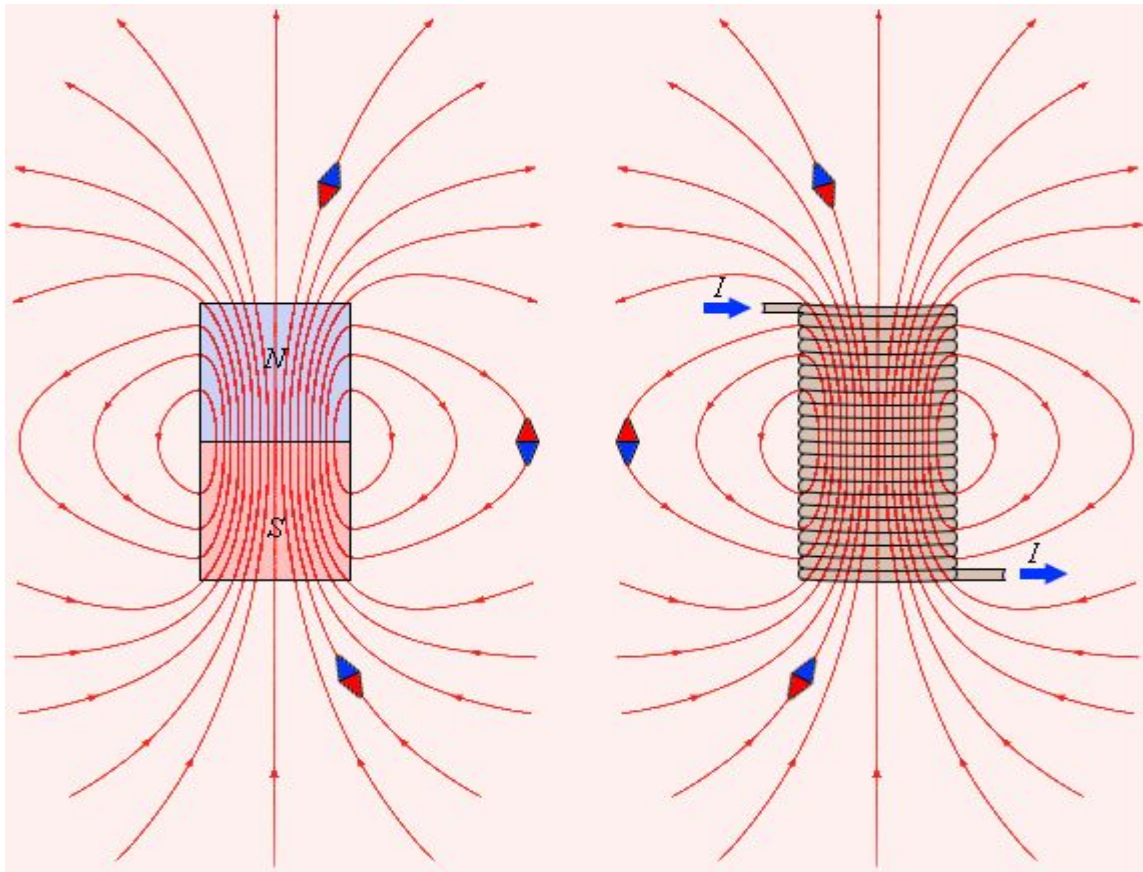
Магнитная индукция. Магнитный момент рамки с током

Силовая характеристика магнитного поля — **вектор магнитной индукции** \vec{B} .
Направление вектора \vec{B} определяется направлением, вдоль которого ориентируется вектор нормали рамки с током, помещённой в данную область магнитного поля или направлением от южного конца (S) к северному концу (N) магнитной стрелки, свободно ориентирующейся в магнитном поле.



Для определения направления вектора \vec{B} магнитного поля прямолинейного проводника с током применяют правило буравчика: *направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением вектора \vec{B} , если при вращении рукоятки буравчик перемещается в направлении тока.*





Численное значение вектора \vec{B} определим по силовому (вращающему) воздействию магнитного поля на рамку с током.

Пусть M_{\max} — максимальный вращающий момент сил, действующий на рамку в магнитном поле.

Опыт показывает, что M_{\max} зависит от силы тока в рамке, её площади и не зависит от её формы.

Поэтому магнитные свойства рамки с током определяет вектор \vec{p}_m – вектор магнитного момента плоской рамки с током произвольной формы

$$\vec{p}_m = IS\vec{n}.$$

Если в данную бесконечно малую область (в пределе – в точку) магнитного поля помещать рамки с различными магнитными моментами, то на них будут действовать различные M_{\max} .

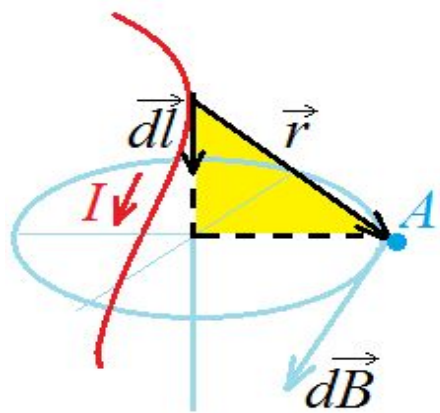
В то же время отношение $\frac{M_{\max}}{p_m}$ будет для всех рамок одно и то же.

Это отношение и будет определять численное значение вектора \vec{B} в данной точке магнитного поля:

$$B = \frac{M_{\max}}{p_m}.$$

Магнитное поле тока. Закон Био–Савара–Лапласа

Закон Био–Савара–Лапласа позволяет рассчитывать магнитные поля токов различных конфигураций.



$d\vec{B}$ – индукция магнитного поля в точке А элемента проводника длиной dl , по которому течет ток I ;

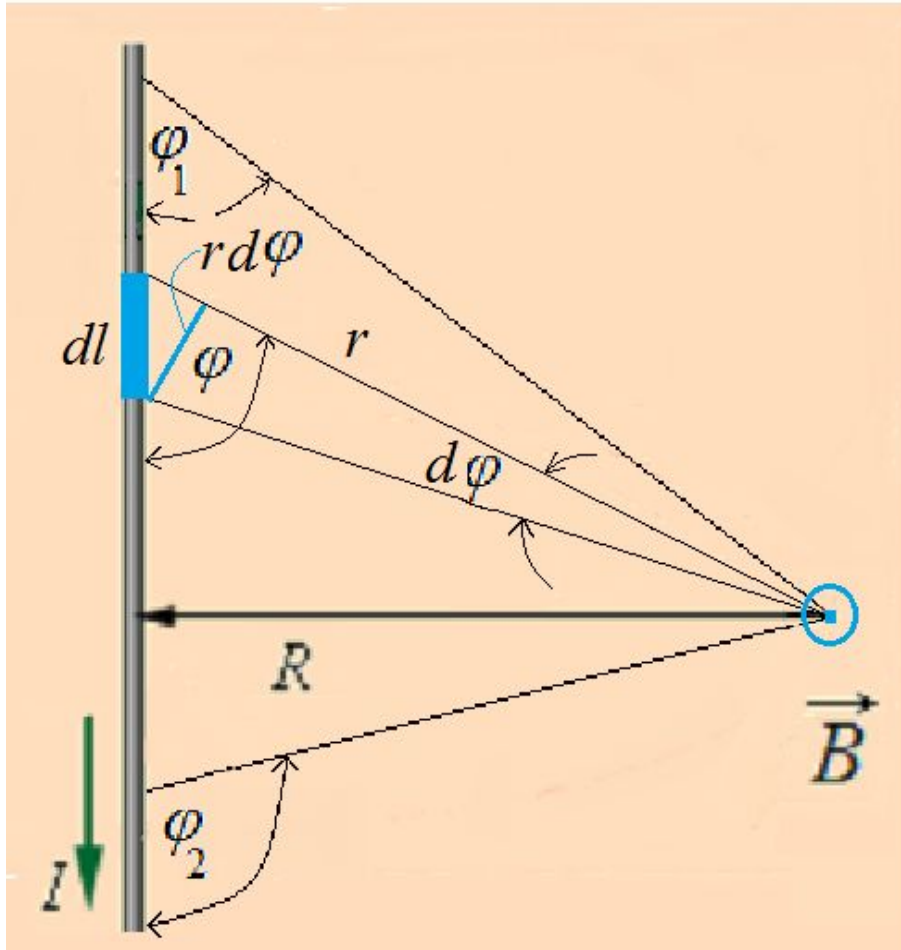
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} I \frac{[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}.$$

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

μ – магнитная проницаемость среды;
 $d\vec{l}$ – вектор, по модулю равный длине элемента проводника dl и совпадающий по направлению с током;
 \vec{r} – радиус-вектор, проведённый из элемента dl проводника в точку А поля.

Направление вектора $d\vec{B}$ перпендикулярно векторам $d\vec{l}$ и \vec{r}

Применение закона Био–Савара–Лапласа к расчету магнитных полей.



1. Индукция магнитного поля прямолинейного проводника.

$$dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I dl \sin \alpha}{r^2}.$$

$$r = \frac{R}{\sin \varphi}, \quad dl = \frac{r d\varphi}{\sin \varphi} =$$

$$= \frac{r d\varphi}{\sin \varphi} = \frac{R}{\sin \varphi} \frac{d\varphi}{\sin \varphi} = \frac{R d\varphi}{\sin^2 \varphi}.$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi R^2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} R d\varphi \sin^2 \varphi \sin \varphi =$$

$$\frac{\mu_0 \mu I}{4\pi R} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin^3 \varphi d\varphi = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi R} (\cos \varphi - \frac{1}{3} \cos^3 \varphi) \Big|_{\varphi_1}^{\varphi_2}$$

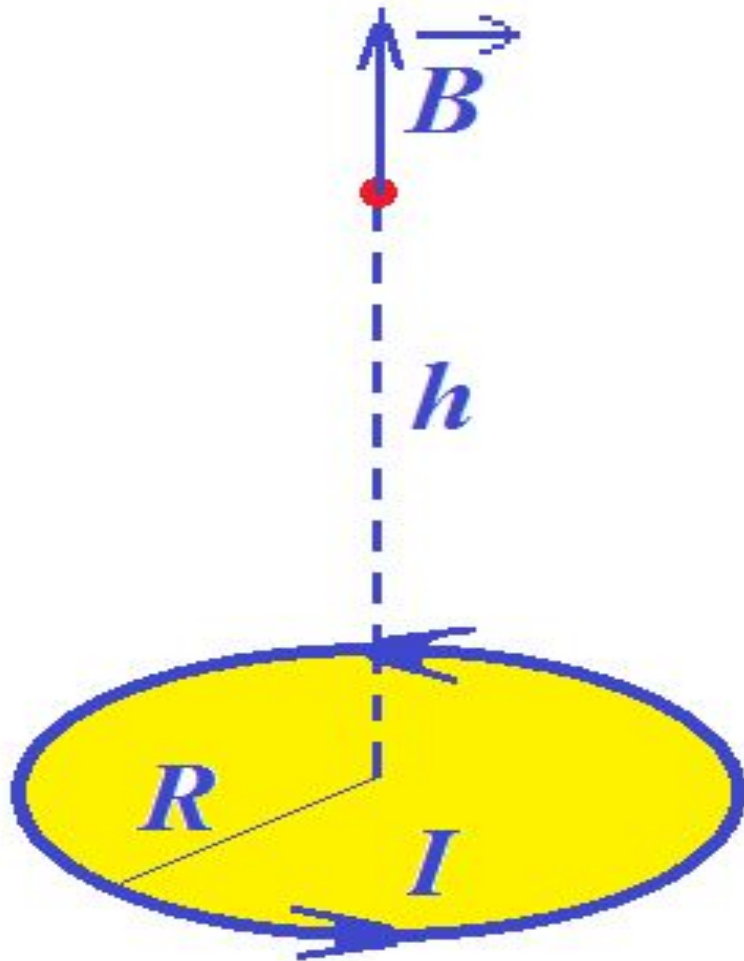
$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi R} (\cos \varphi_1 - \frac{1}{3} \cos^3 \varphi_1 - \cos \varphi_2 + \frac{1}{3} \cos^3 \varphi_2)$$

Для бесконечно длинного прямолинейного проводника:

$$\varphi_1 \rightarrow 0, \quad \varphi_2 \rightarrow \pi.$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}$$

2. Индукция магнитного поля кругового тока в точке, расположенной на его оси



$$B = \frac{\mu\mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}$$

При $h = 0$:

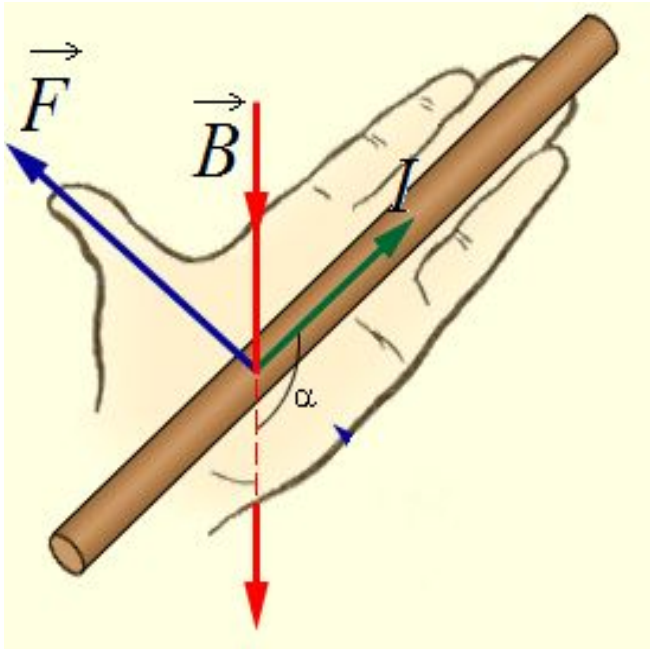
$$B = \frac{\mu\mu_0}{2} \frac{I}{R}$$

Действие магнитного поля на ток.

Сила Ампера

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

$$dF = IBdl \sin \alpha$$



Из закона Ампера определим единицу магнитной индукции: при $\vec{B} \perp d\vec{l}$;

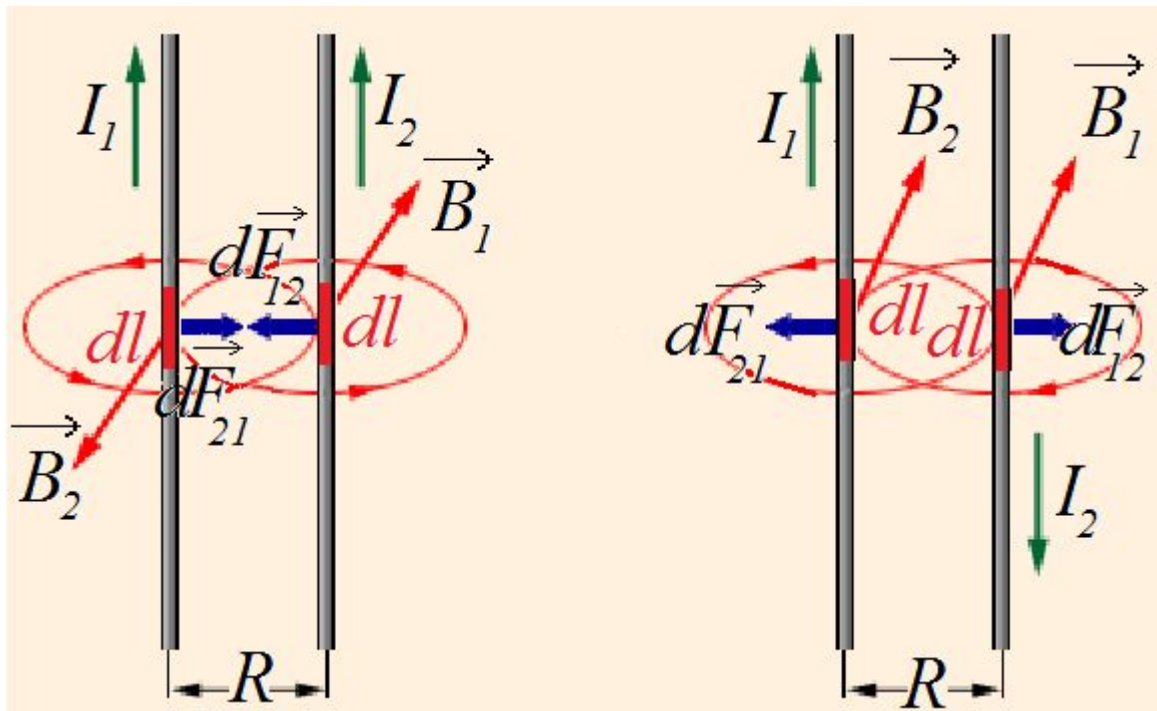
$$dF = I B dl.$$

Откуда: $B = \frac{1}{I dl} dF$. Единица магнитной индукции **тесла** (Тл).

Правило левой руки

$$\text{Тл} \equiv \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$$

Взаимодействие параллельных токов



$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu}{\hat{x}} \frac{I_1}{R};$$

$$dF_1 = I_2 B_1 dl;$$

$$dF_1 = \frac{\mu_0 \mu}{\hat{x}} \frac{I_1 I_2}{R} dl;$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 \mu}{\hat{x}} \frac{I_2}{R};$$

$$dF_2 = I_1 B_2 dl;$$

$$dF_2 = \frac{\mu_0 \mu}{\hat{x}} \frac{I_1 I_2}{R} dl$$

$$dF_2 = dF_1 = \frac{\mu_0 \mu}{2R} I_1 I_2 dl.$$

Два параллельных тока одинакового направления притягиваются друг к другу на единицу длины с силой:

$$F = \frac{\mu_0 \mu}{2R} I_1 I_2.$$

Действие магнитного поля на движущийся заряд.

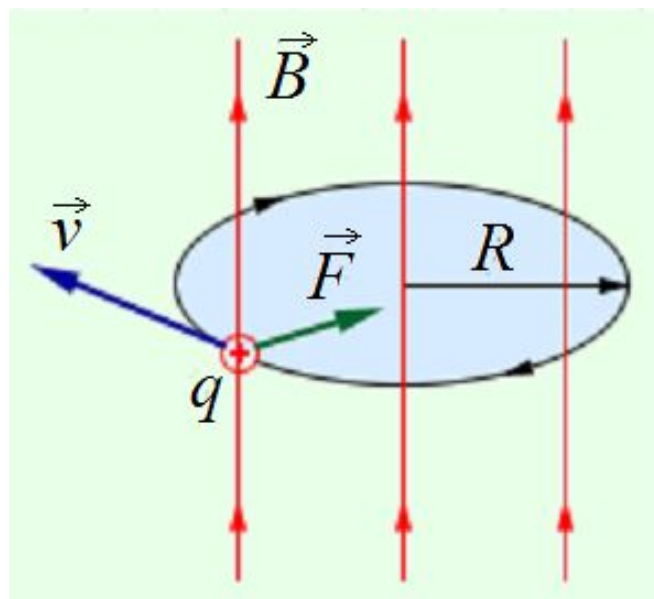
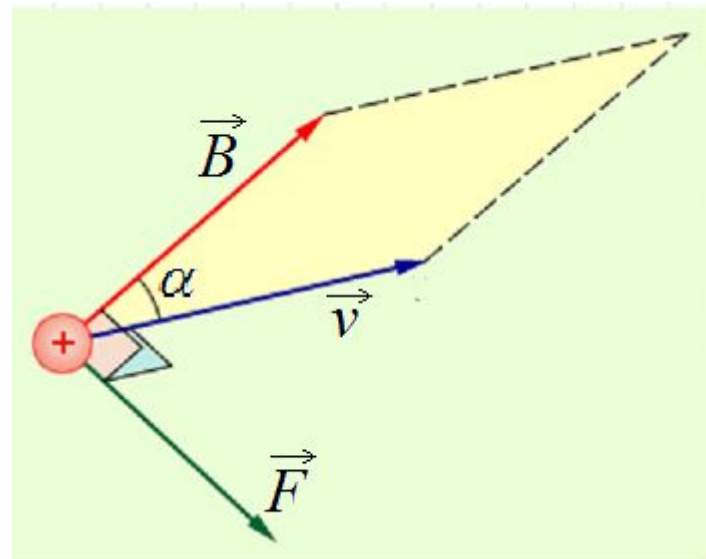
Сила Лоренца

Сила, действующая на электрический заряд q , движущийся в магнитном поле индукцией B со скоростью v называется **силой Лоренца**:

$$\vec{F} = q [\vec{v} \times \vec{B}] \text{ р.} \quad F = qvB \sin$$

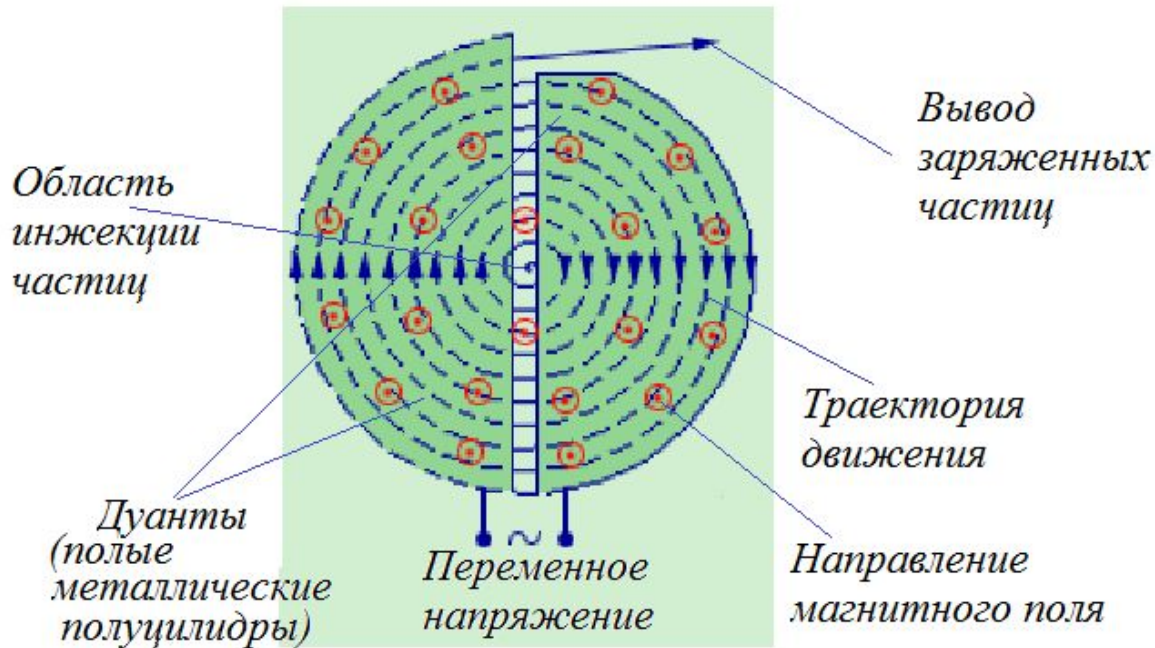
Направление силы Лоренца, действующей на положительный заряд, определяется правилом левой руки (аналогично силе Ампера). Она направлена перпендикулярно плоскости, в которой лежат вектора \vec{B} и \vec{v} .

Модуль силы Лоренца равен площади параллелограмма, построенного на векторах \vec{B} и \vec{v} , помноженной на q .



При движении заряженных частиц в магнитном поле **сила Лоренца** **работы не совершает**.

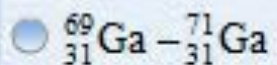
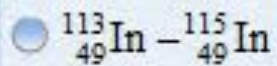
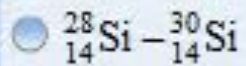
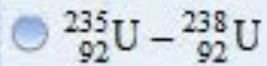
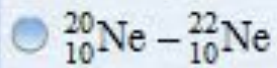
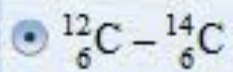
Если $\vec{v} \perp \vec{B}$, то частица будет двигаться по окружности радиуса $R = \frac{mv}{qB}$ с периодом обращения $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$ и угловой скоростью $\omega = \frac{qB}{m}$. (**циклотронной частотой**).



Схема

циклотрона — циклического резонансного ускорителя тяжёлых заряженных частиц (протонов, ионов).

Изотопы



Параметры системы

$B =$ мТл

$v =$ м/с

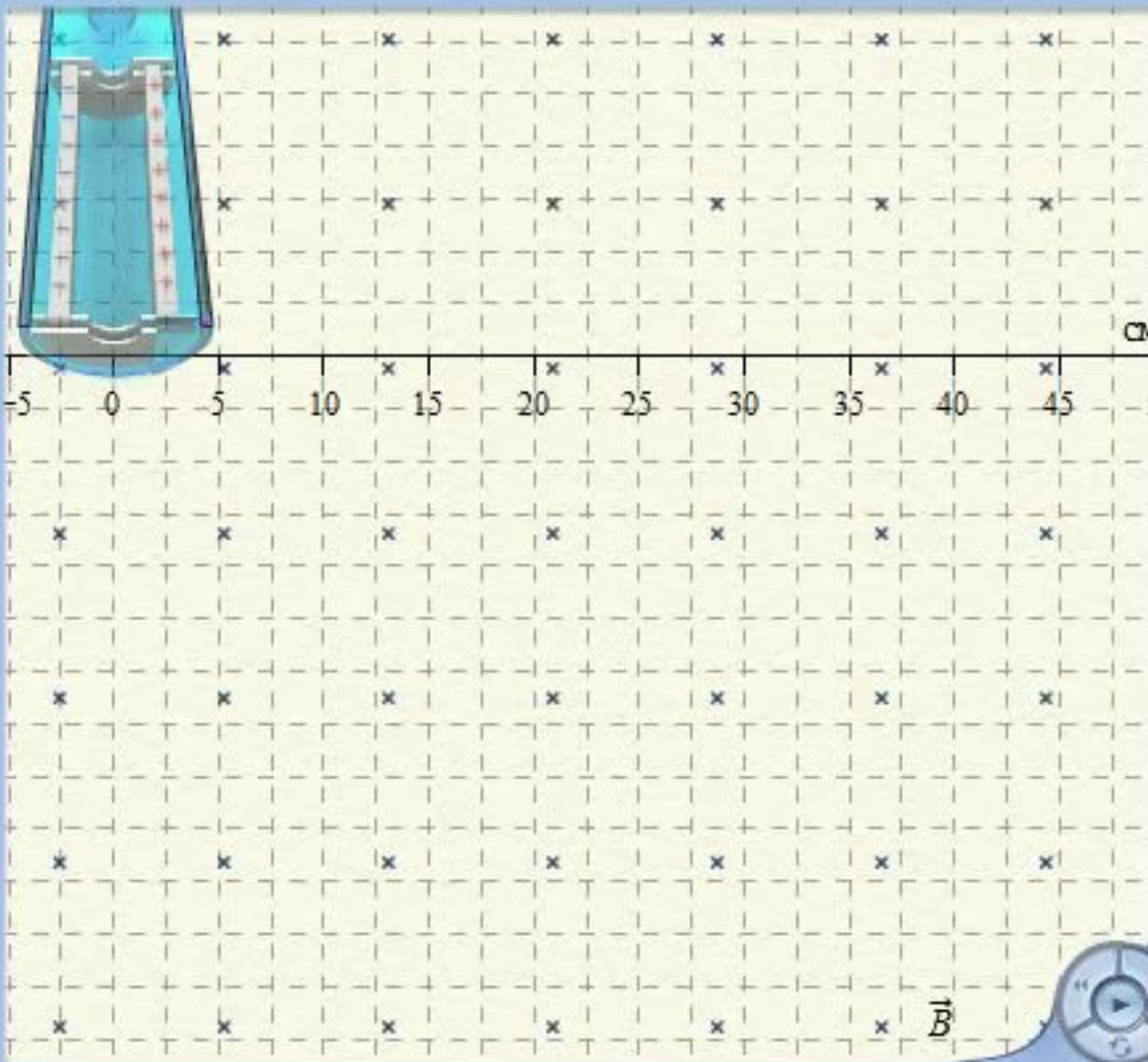
Показать

Вектор \vec{v}

Вектор \vec{F}

Радиусы траекторий

Анимация



ЛЕКЦИЯ ОКОНЧЕНА
