

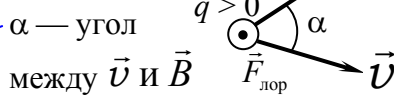
# VIII. Магнитные явления

1. Магнитное поле — особая материя, возникающая вокруг любых движущихся электрических зарядов (токов).

действующая магнитными силами на движущиеся заряды (токи).

**Сила Лоренца** — сила, действующая со стороны магнитного поля на отдельные движущиеся заряды.

$$F_{\text{Лор}} = |q| v B \cdot \sin \alpha$$



**Сила Ампера** — сила, действующая со стороны магнитного поля на провод с током.

$$F_A = I l B \cdot \sin \alpha$$

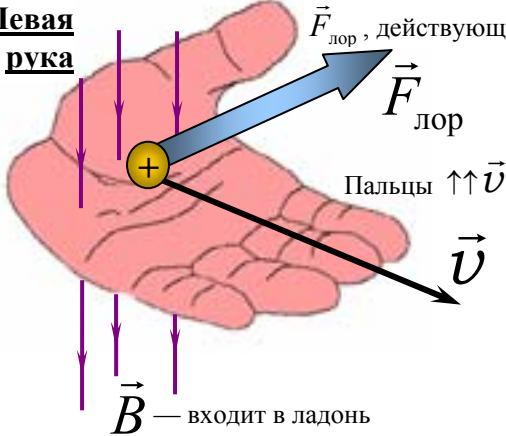
Провод прямолинейный, находится в однородном магнитном поле.

$$\vec{F}_A \perp \text{току}$$

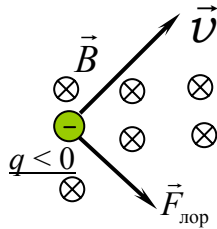
$$\vec{F}_A \perp \vec{B}$$

Большой палец указывает направление  $\vec{F}_A$ .

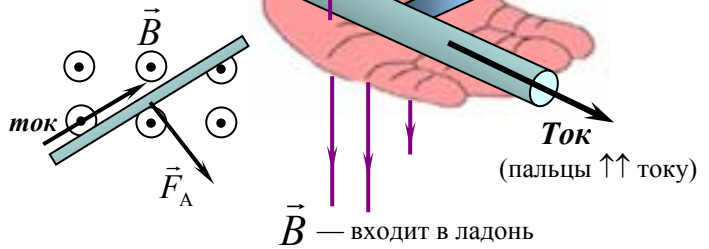
**Левая рука**



Большой палец указывает направление  $\vec{F}_{\text{Лор}}$ , действующей на (+) заряд.



**Левая рука**



Если заряд летит параллельно  $\vec{B}$ , то  $\vec{F}_{\text{Лор}} = 0$

Единица измерения магнитной индукции в СИ: 1Тл 1Тл = 1Н·с/(Кл·м) — индукция такого магнитного поля, в котором на единицу заряда, движущегося со скоростью 1м/с действует максимальная сила Лоренца 1Н. (Сила максимальна при  $\alpha = 90^\circ$ )

Если провод с током параллелен  $\vec{B}$ , то  $\vec{F}_A = 0$

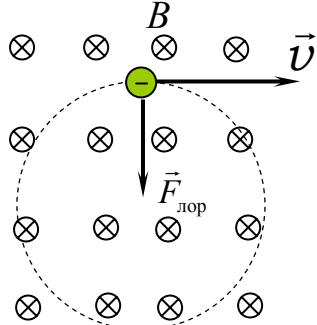
1Тл = 1Н/(А·м) — индукция такого однородного магнитного поля, в котором на прямой провод длиной 1 м с током силой 1А действует максимальная сила Ампера 1Н. (Сила максимальна при  $\alpha = 90^\circ$ )

## 2. Движение зарядов в магнитном поле

2.1 Если скорость заряда  $\vec{v} \perp \vec{B}$ , то его траектория — окружность.

По II закону Ньютона:  $m\vec{a} = \vec{F}_{\text{Лор}}$  (массы частиц обычно так малы, что силой тяжести можно пренебречь по сравнению с  $F_{\text{Лор}}$ )

$\vec{F}_{\text{Лор}} \perp \vec{v} \Rightarrow \vec{a} \perp \vec{v} \Rightarrow a = a_{\text{центр}} = v^2/R$  — центростремительное ускорение.



Радиус окружности, по которой движется частица массой  $m$ , зарядом  $q$  в однородном магнитном поле индукцией  $B$ .

$$R = \frac{mv}{|q|B}$$

$$m \frac{v^2}{R} = |q| v B \cdot \sin 90^\circ$$

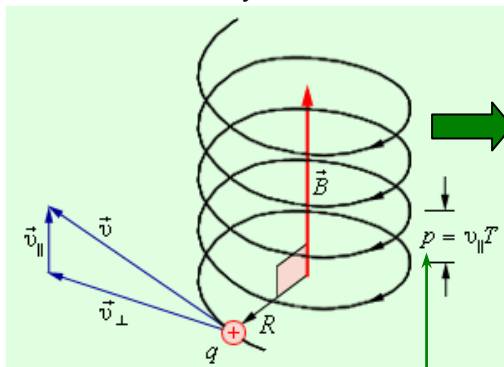
$$T = \frac{s}{v} = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

Период обращения частицы массой  $m$ , зарядом  $q$  в однородном магнитном поле индукцией  $B$

$$T = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

! не зависит от скорости!

2.2 Если скорость заряда  $\vec{v}$  образует с  $\vec{B}$  произвольный угол (не равный  $90^\circ, 0^\circ, 180^\circ$ ), то его траектория — спираль.



Скорость частицы  $\vec{v}$  представим как сумму двух векторов  $\vec{v}_\perp$  и  $\vec{v}_\parallel$  (перпендикулярная и параллельная  $\vec{B}$  составляющие скорости). В системе отсчета  $K'$ , движущейся со скоростью  $\vec{v}_\parallel$ , частица будет иметь скорость  $\vec{v}_\perp$  и двигаться по окружности радиуса  $R = \frac{mv_\perp}{|q|B}$  (п. 2.1). К этому

вращению добавляется поступательное движение  $K'$ -системы в результате получается движение по спирали (см. рис.)

Шаг спирали — расстояние, на которое смещается частица

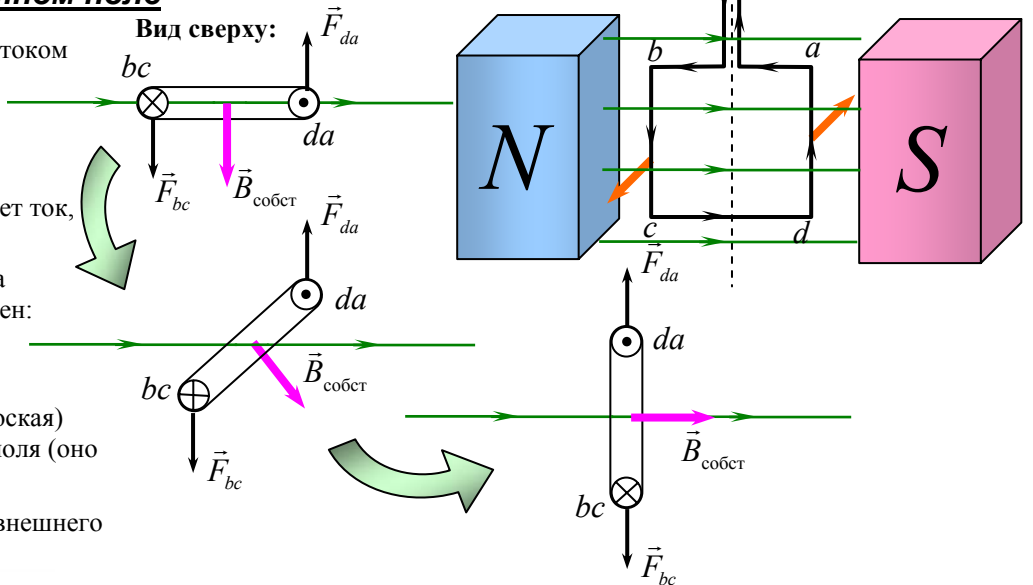
вдоль направления  $\vec{B}$  за один полный оборот, т. е. за время  $T = \frac{2\pi m}{|q|B}$

### 3. Рамка с током в магнитном поле

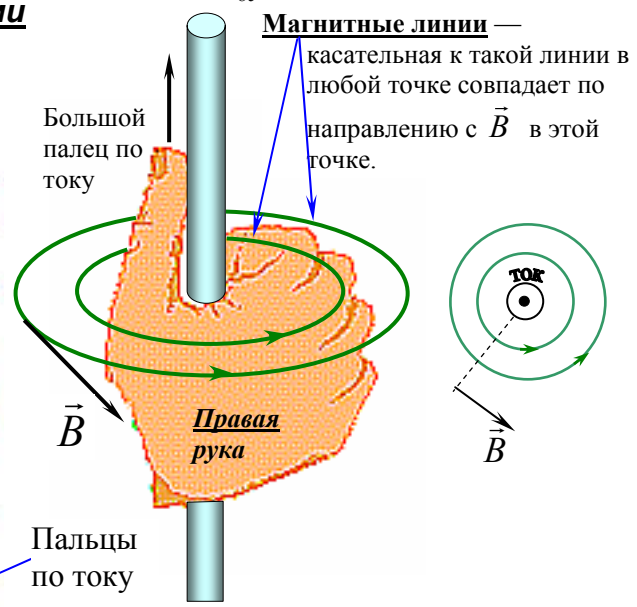
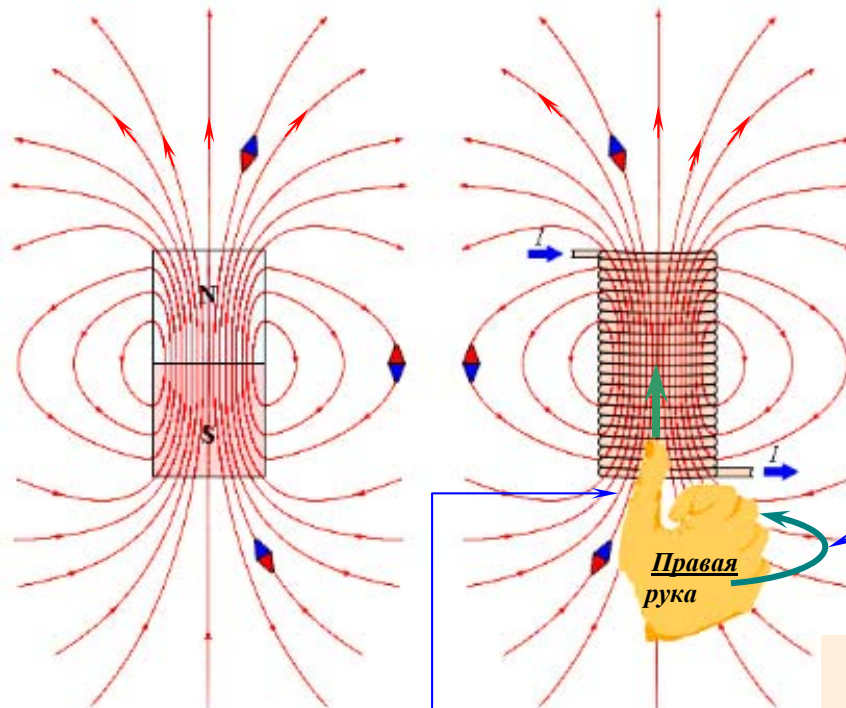
Силы Ампера разворачивают рамку с током так, что создаваемое внутри рамки собственное магнитное поле  $\vec{B}_{\text{собст}}$  оказывается сонаправлено с внешним магнитным полем. (Поле  $\vec{B}_{\text{собст}}$  создает ток, текущий в рамке).  
 Вращающий момент, действующий на рамку в произвольном положении равен:

$$M = ISB \sin \alpha$$

$I$  — сила тока в рамке  
 $S$  — площадь внутри рамки (рамка плоская)  
 $B$  — индукция внешнего магнитного поля (оно должно быть однородно)  
 $\alpha$  — угол между вектором индукции внешнего поля и перпендикуляром к



### 4. Магнитные поля, создаваемые различными токами



Большой палец указывает направление  $\vec{B}$  в центре катушки

### 6. Явление электромагнитной индукции

Если в замкнутом проводящем контуре изменяется магнитный поток, то это приводит к появлению в этом контуре ЭДС (ЭДС индукции).

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

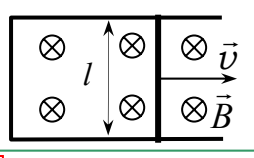
Контур плоский, поле  $\vec{B}$  однородно в пределах контура.

Единица измерения магнитного потока в СИ:  
 $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt} = -\Phi'(t)$$

Если  $\Phi$  меняется равномерно

$$\mathcal{E}_i = v \cdot l \cdot B$$



$$W_{\text{кат}} = \frac{LI^2}{2}$$

Энергия магнитного поля катушки индуктивности  $L$ , по которой течет ток  $I$ .

Индуктивность контура — коэффициент пропорциональности между силой тока в контуре и собственным магнитным потоком.

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

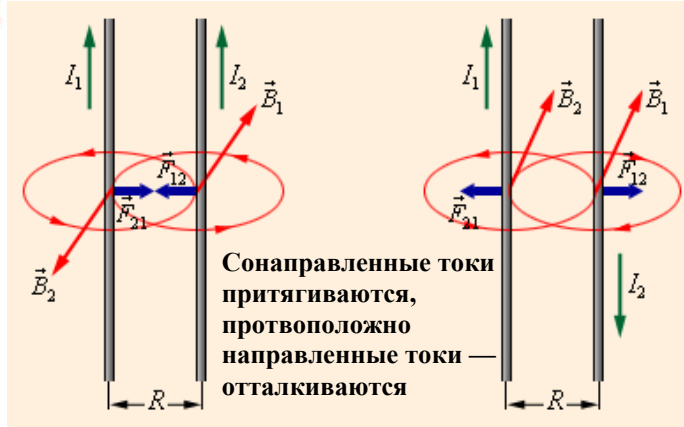
Если  $I$  меняется равномерно

$$\Phi_{\text{собст}} = LI$$

$$\mathcal{E}_{\text{сам}} = -L \frac{dI}{dt} = -LI'(t)$$

ЭДС самоиндукции

### 5. Взаимодействие токов



### 7. Явление самоиндукции

— возникновение ЭДС в контуре вследствие изменения собственного магнитного потока через этот контур.

$\Phi_{\text{собст}}$  — магнитный поток, создаваемый магнитным полем, которое породил ток, текущий в контуре.