

# VIII. Магнитные явления

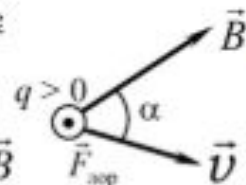
1. Магнитное поле — особая материя, возникающая вокруг любых движущихся электрических зарядов (токов).  
действующая магнитными силами на движущиеся заряды (токи).

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

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

$$\vec{F}_{\text{лор}} \perp \vec{v}, \vec{F}_{\text{лор}} \perp \vec{B}$$

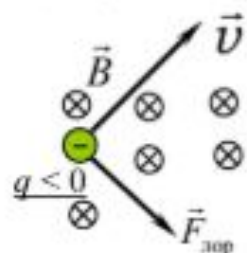
$\alpha$  — угол между  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$   
модуль вектора  $\vec{B}$  — вектора магнитной индукции



**Левая рука**



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



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  $\alpha = 90^\circ$ )

**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.

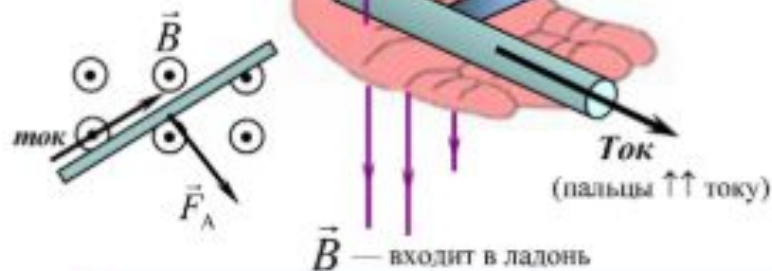
$$\vec{F}_A \perp \text{току}$$

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

$\alpha$  — угол между током и  $\vec{B}$   
Длина провода  
Сила тока в проводе

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

**Левая рука**



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

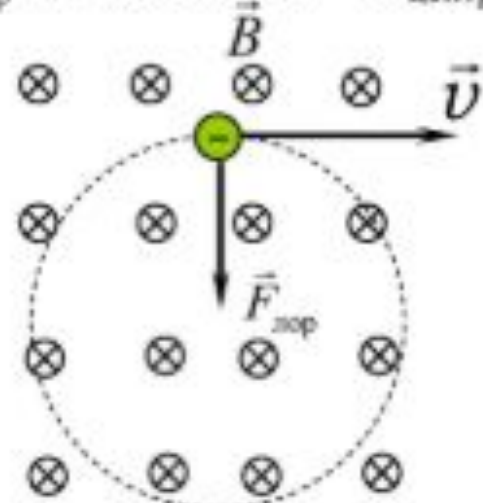
1Тл = 1Н/(А·м) — индукция такого однородного магнитного поля, в котором на прямой провод длиной 1 м с током силой 1А действует максимальная сила Ампера 1Н. (Сила максимальна при  $\alpha = 90^\circ$ )

## 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  $B$ .

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

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

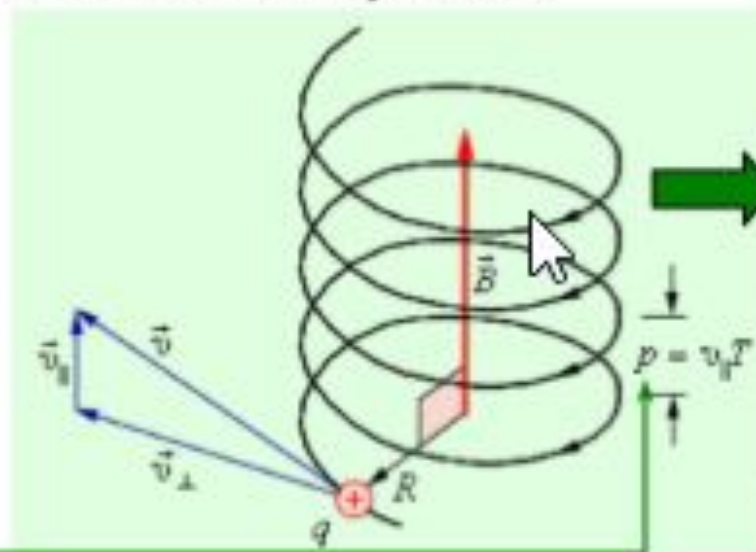
$$T = \frac{s}{v} = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

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.



Шаг спирали — расстояние, на которое смещается частица вдоль направления  $\vec{B}$  за один полный оборот, т. е. за время  $T = \frac{2\pi m}{|q|B}$

Скорость частицы  $\vec{v}$  представляют 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.)

### 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:

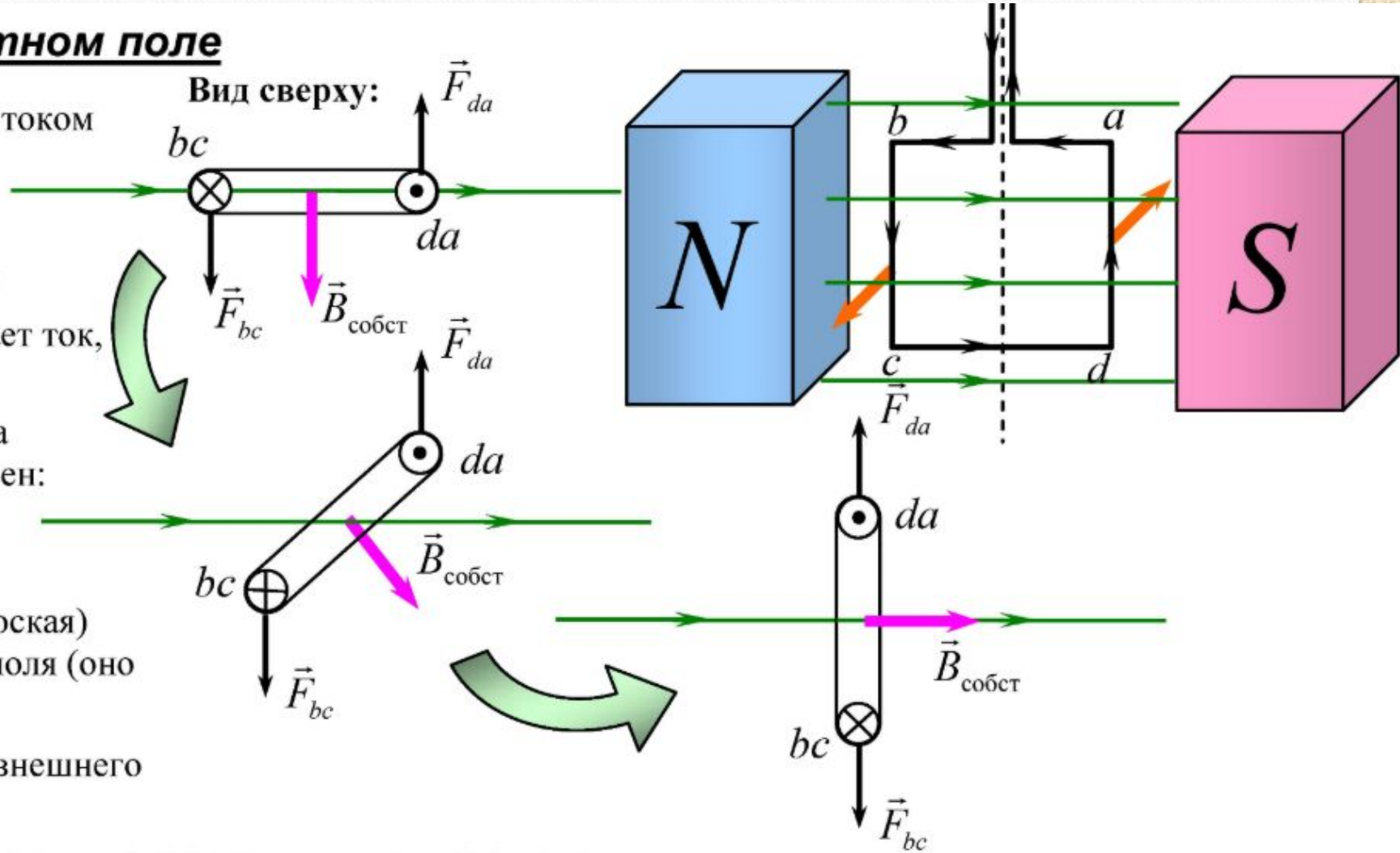
$$M = ISB \sin \alpha$$

$I$  — сила тока в рамке

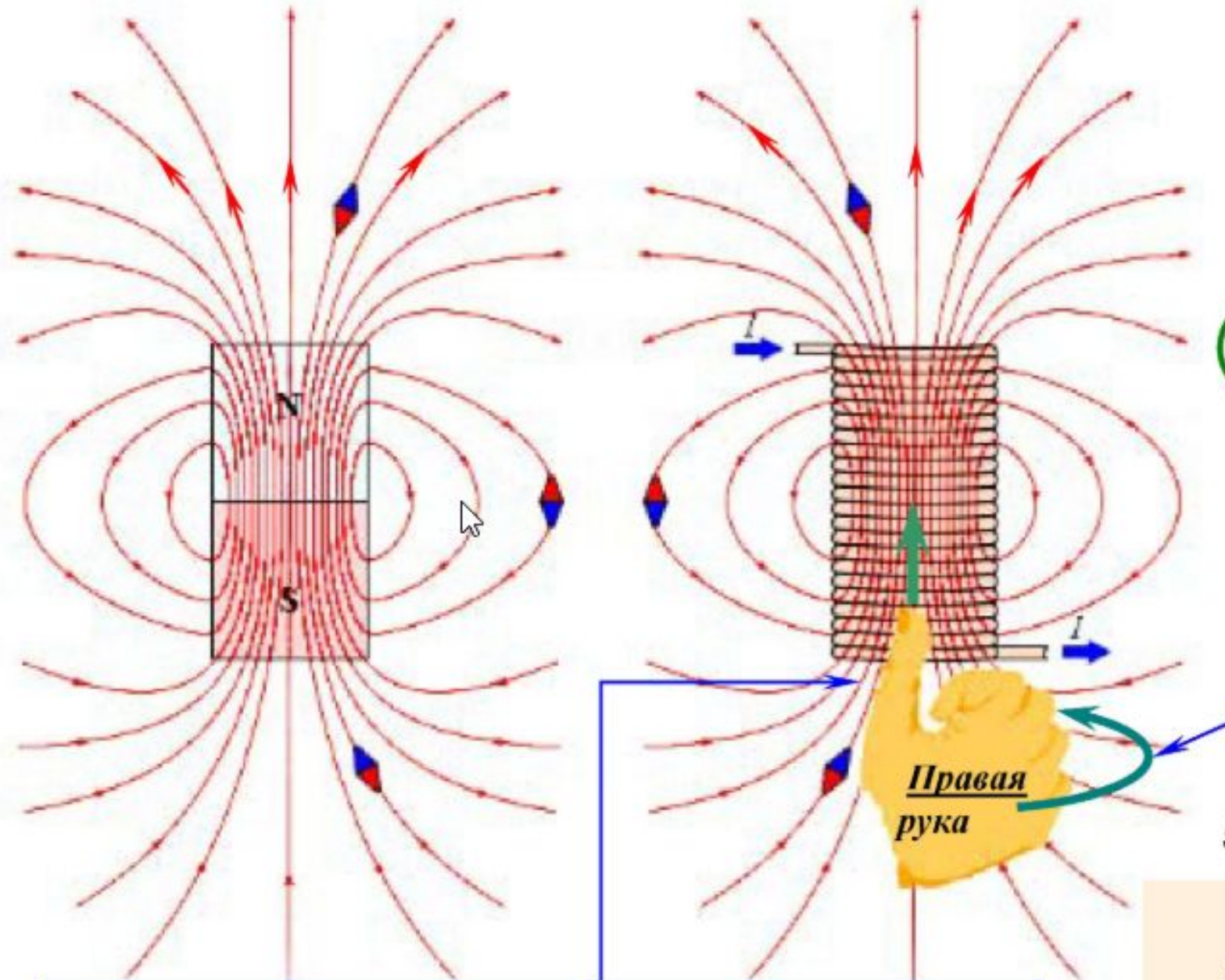
$S$  — площадь внутри рамки (рамка плоская)

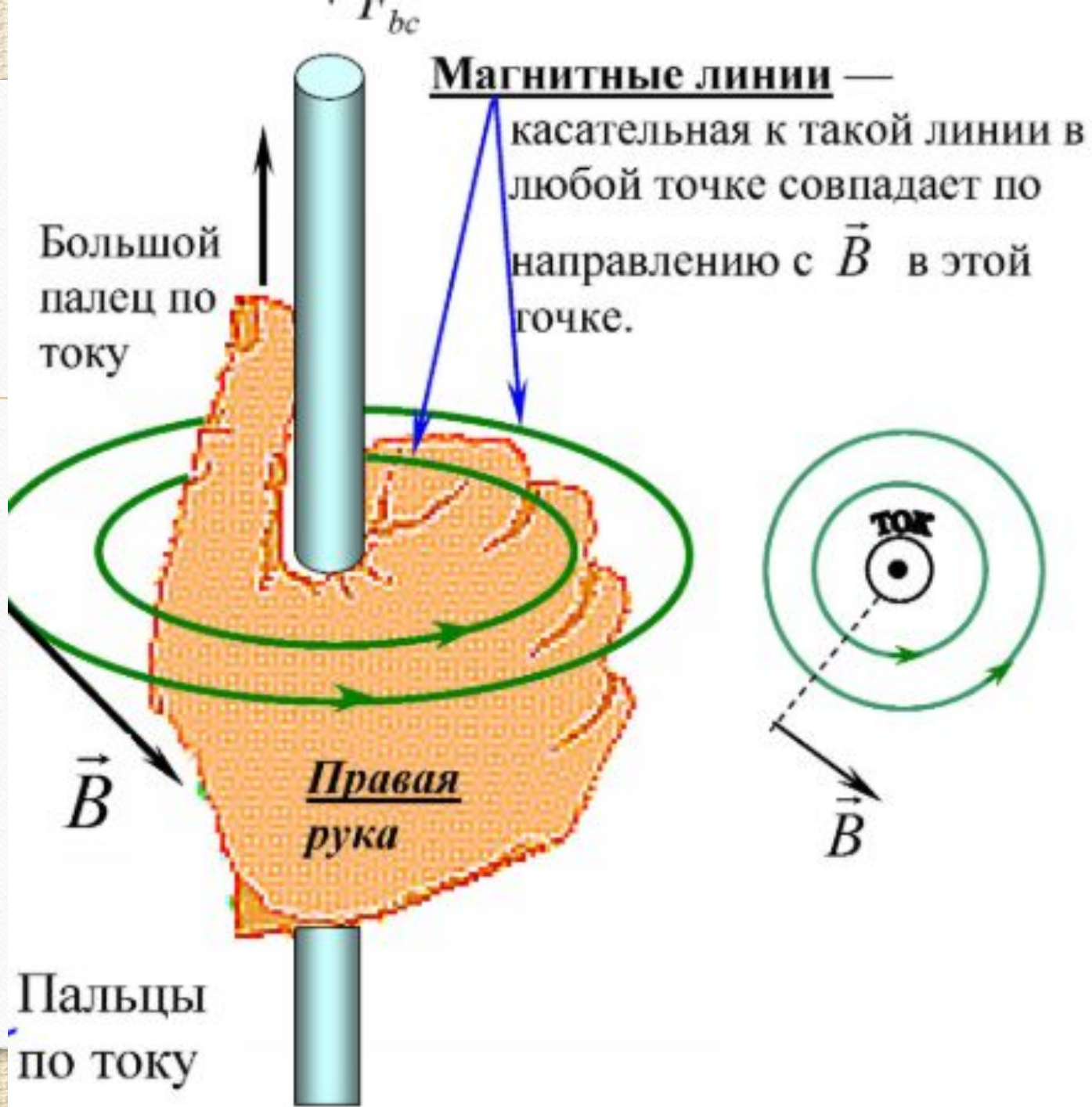
$B$  — индукция внешнего магнитного поля (оно должно быть однородно)

$\alpha$  — угол между вектором индукции внешнего поля и перпендикуляром к

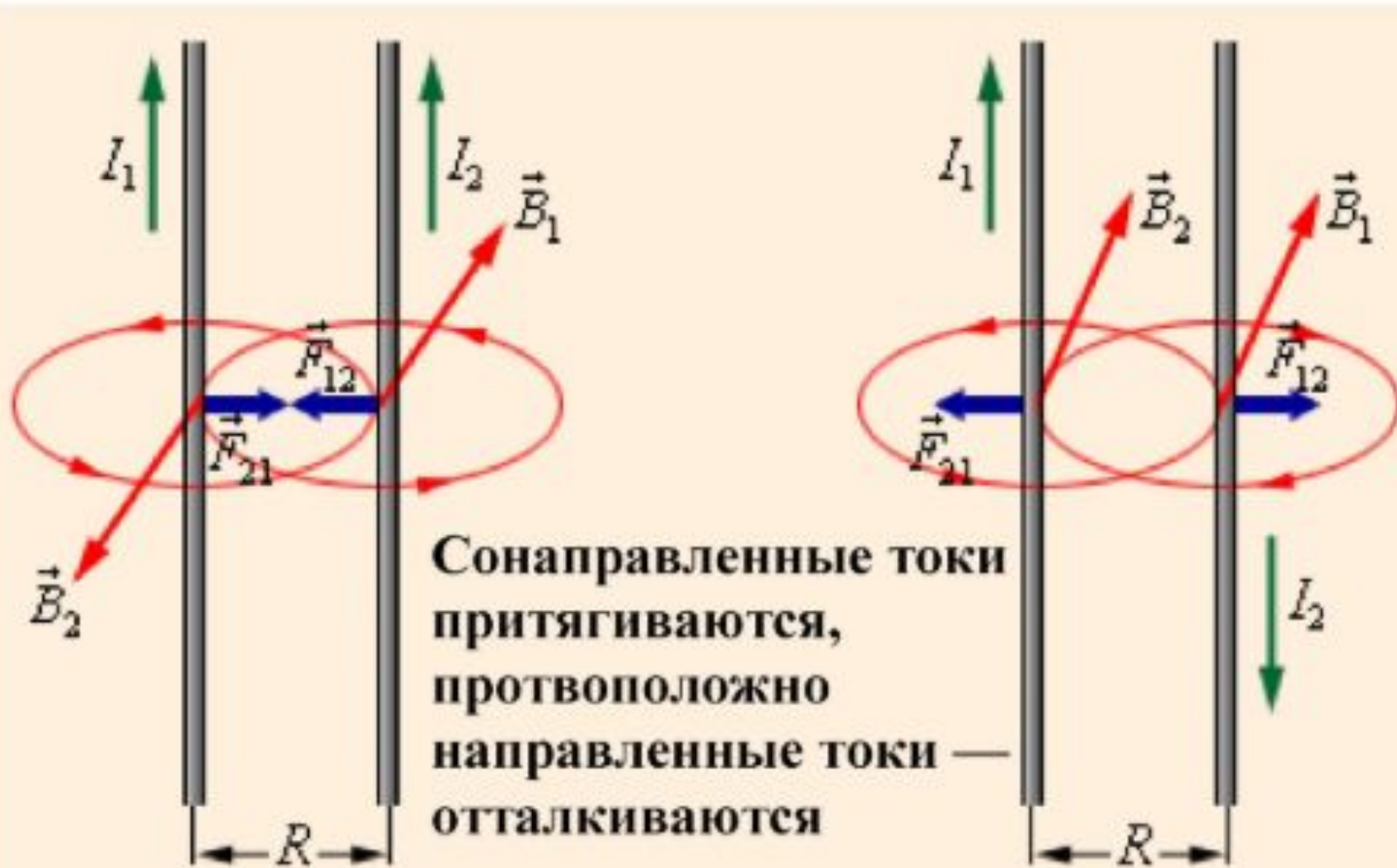


#### 4. Магнитные поля, создаваемые различными токами





## 5. Взаимодействие токов



## 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.

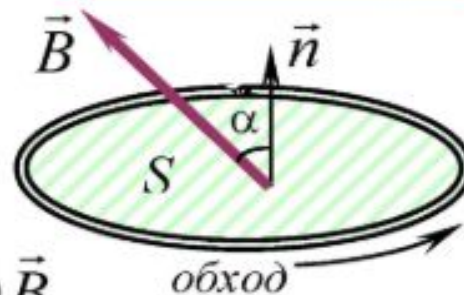
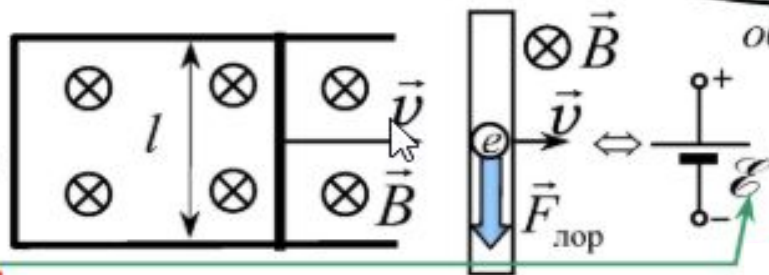
Единица измерения магнитного потока в СИ:  
 $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

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

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  $I$ .

## 7. Явление самоиндукции — возникновение ЭДС

$$\Phi^{\text{собст}} = LI$$

в контуре вследствие изменения собственного магнитного потока через этот контур.

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

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

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

Если  $I$  меняется равномерно

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

ЭДС самоиндукции