

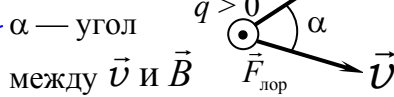
VIII. Магнитные явления

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.

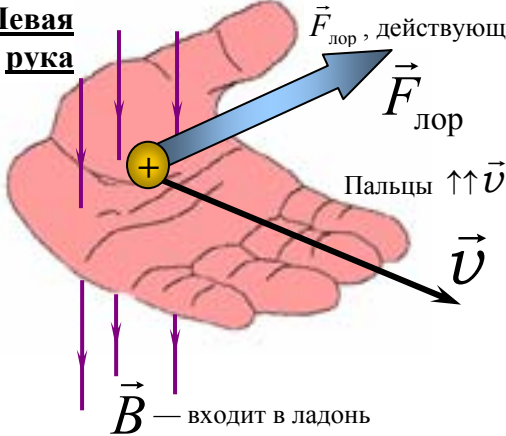
$$F_{\text{Лор}} = |q| v B \cdot \sin \alpha$$



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

α — 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.
 Пальцы $\uparrow \vec{v}$

\vec{B} — входит в ладонь

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.

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

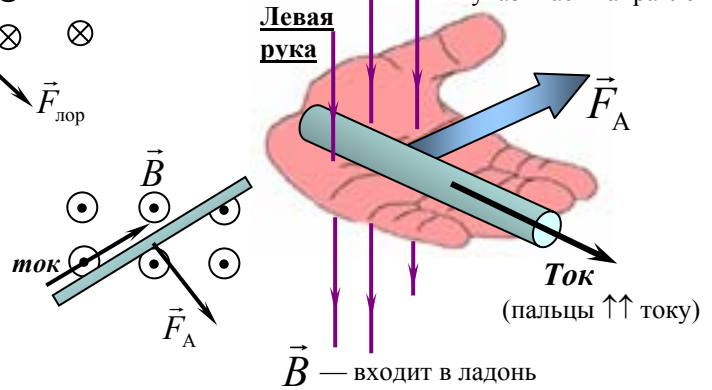
α — угол между током и \vec{B}
 Провод прямолинейный, находится в однородном магнитном поле.
 Длина провода
 Сила тока в проводе

$$\vec{F}_A \perp \text{току}$$

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

Большой палец указывает направление \vec{F}_A .

Левая рука



\vec{B} — входит в ладонь

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

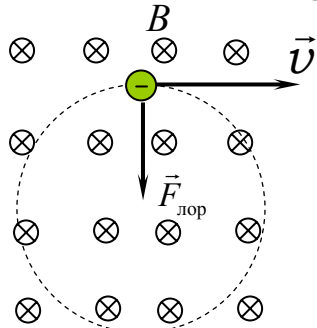
1Тл = 1Н/(А·м) — индукция такого однородного магнитного поля, в котором на прямой провод длиной 1 м с током силой 1А действует максимальная сила Ампера 1Н. (Сила максимальна при $\alpha = 90^\circ$)

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 .

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

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

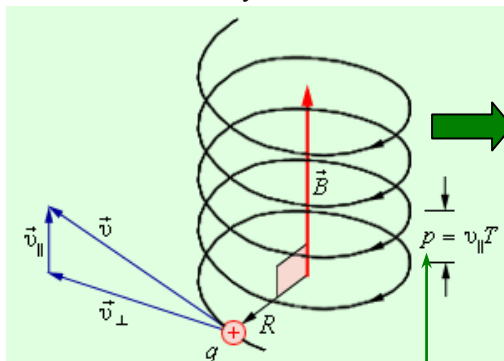
$$T = \frac{s}{v} = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B}$$

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.



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

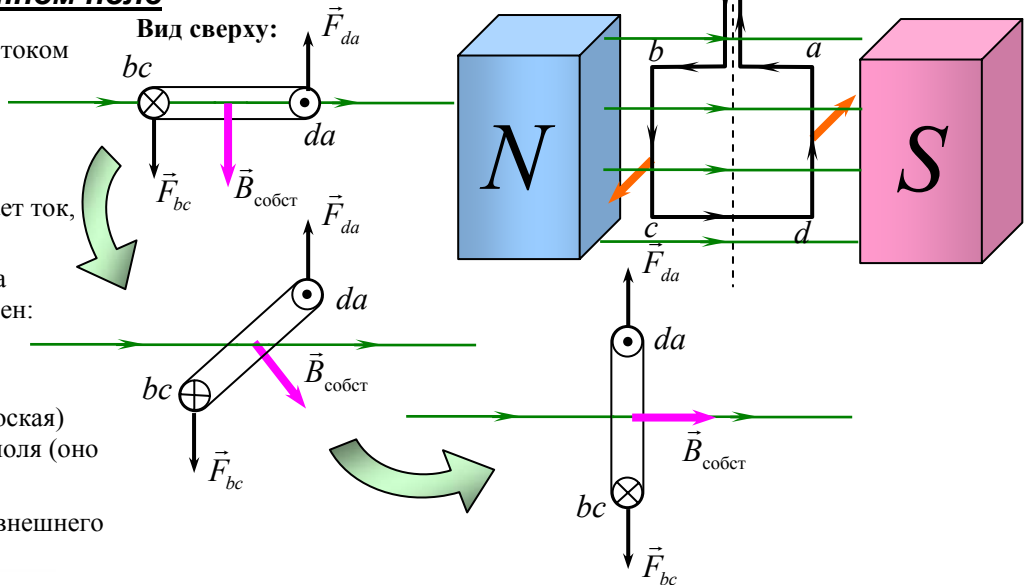
вдоль направления \vec{B} за один полный оборот, т. е. за время $T = \frac{2\pi m}{|q|B}$

3. Рамка с током в магнитном поле

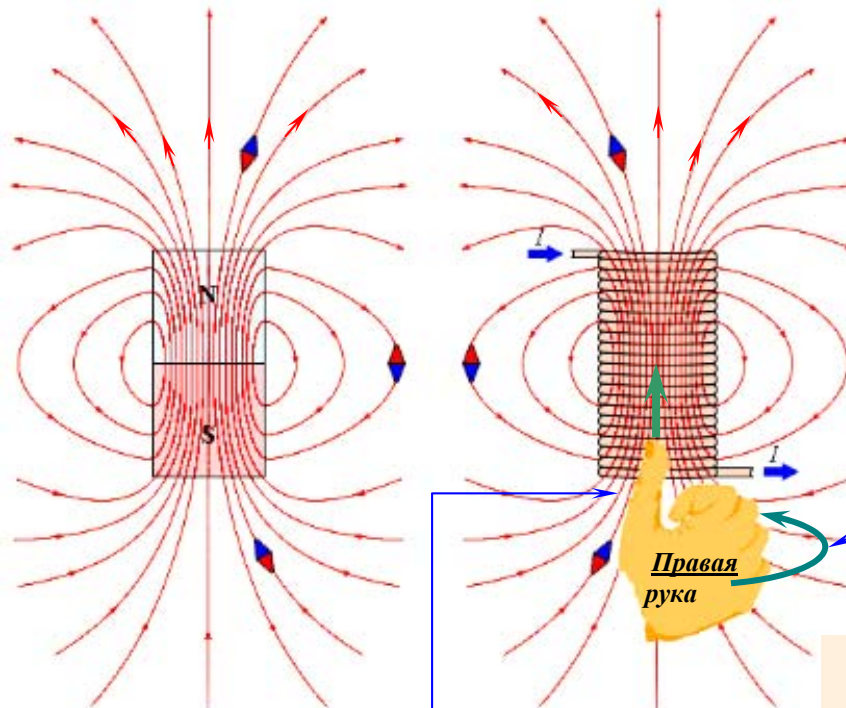
Силы Ампера разворачивают рамку с током так, что создаваемое внутри рамки собственное магнитное поле $\vec{B}_{\text{собст}}$ оказывается сонаправлено с внешним магнитным полем. (Поле $\vec{B}_{\text{собст}}$ создает ток, текущий в рамке).
 Вращающий момент, действующий на рамку в произвольном положении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

$$M = ISB \sin \alpha$$

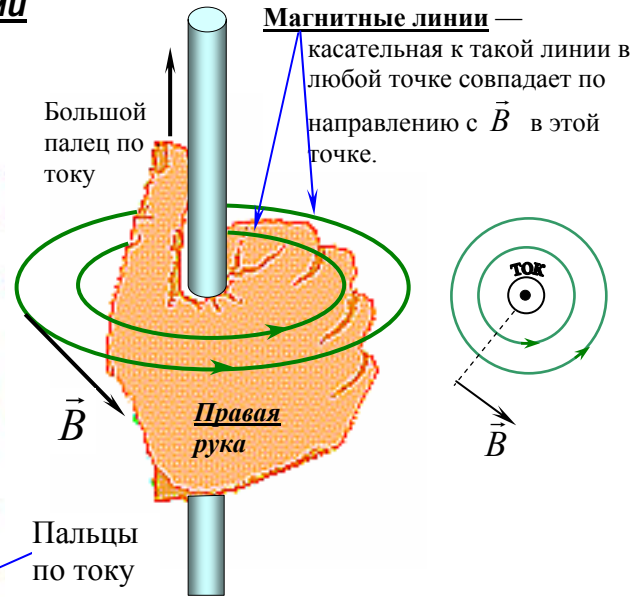
I — сила тока в рамке
 S — площадь внутри рамки (рамка плоская)
 B — индукция внешнего магнитного поля (оно должно быть однородно)
 α — угол между вектором индукции внешнего поля и перпендикуляром к



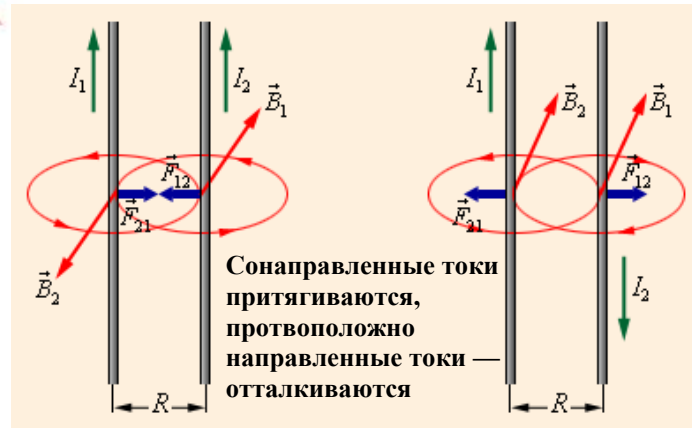
4. Магнитные поля, создаваемые различными токами



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



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.

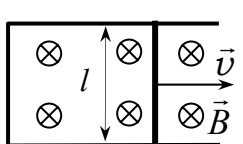
Единица измерения магнитного потока в СИ:
 $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$

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

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

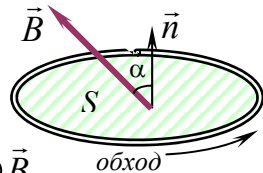
Если Φ меняется равномерно

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



$$W_{\text{кат}} = \frac{LI^2}{2}$$

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



7. Явление самоиндукции

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

$$\Phi_{\text{собст}} = LI$$

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

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

ЭДС самоиндукции

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