

***Сила Ампера.
Взаимодействие
параллельных токов***

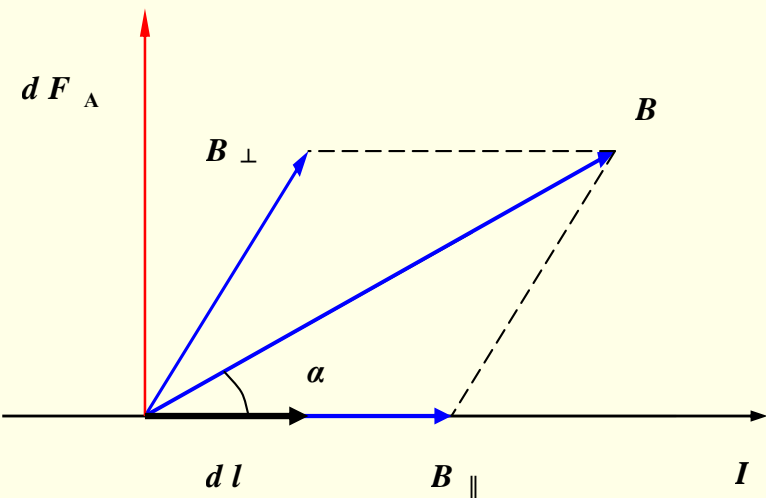
Лекция № 5



Содержание лекции:

- ***Сила Ампера***
- ***Взаимодействие параллельных токов***
- ***Контур с током в магнитном поле***
- ***Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле***

Сила Ампера

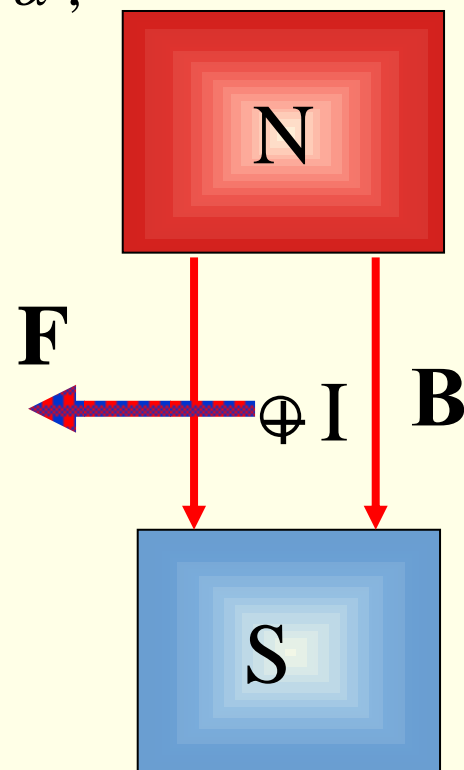
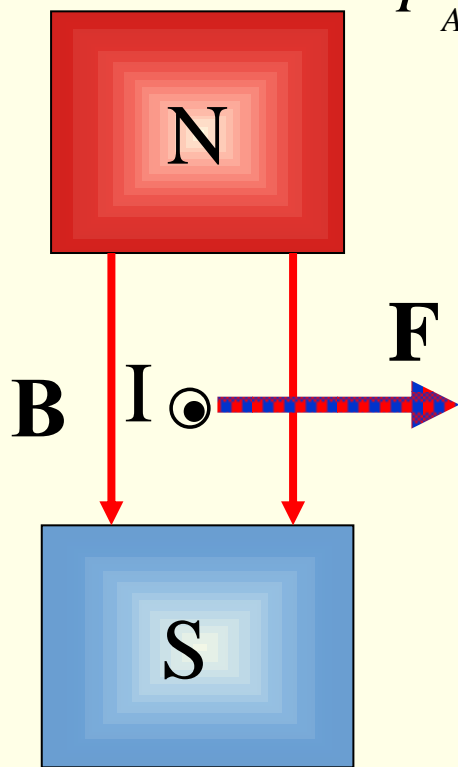


Элементарная сила $d\vec{F}$, действующая на малый элемент длины dl проводника с током, находящийся в магнитном поле индукцией \vec{B} , прямо пропорциональна силе тока I в проводнике и векторному произведению $[d\vec{l}, \vec{B}]$.

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

Сила Ампера, действующая в магнитном поле на проводник с током конечной длины:

$$\vec{F}_A = \int_l I [d\vec{l}, \vec{B}], \quad F_A = IBl \sin \alpha,$$



Направление силы Ампера определяется по правилу левой руки.

Андре Мари Ампер

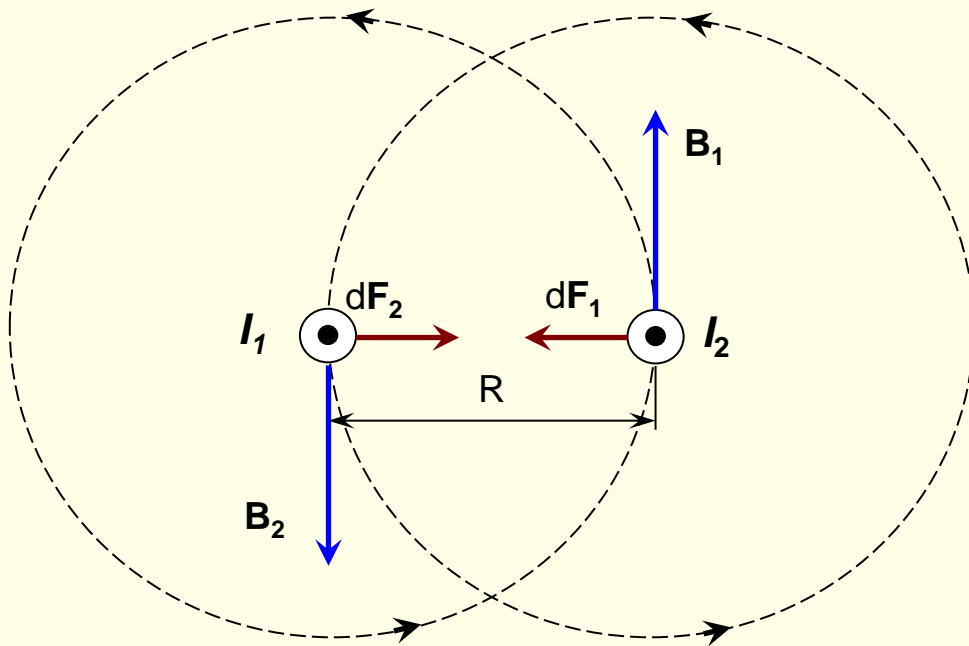
(1775 - 1836)



Французский физик, математик, химик, член Парижской АН (1814), иностранный член Петербургской АН (1830), один из основоположников электродинамики. Построил первую теорию магнетизма, основанную на гипотезе молекулярных токов, согласно которой магнитные свойства вещества обусловлены электрическими токами, циркулирующими в молекулах.

Взаимодействие параллельных токов

Применим закон Ампера для вычисления взаимодействия двух находящихся в вакууме параллельных бесконечно длинных прямых токов.



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

$$dF_2 = I_2 B_1 dl \sin \left(d\vec{l} \wedge \vec{B} \right)$$

Если $l \gg a$, то:

$$B_1 = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1}{a}$$

причем $\vec{B}_1 \perp d\vec{l}$ второго проводника, так что $\sin \left(d\vec{l} \wedge \vec{B}_1 \right) = 1$

Поэтому сила dF_2 численно равна:

$$dF_2 = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2 dl}{a}$$

Рассуждая аналогичным образом, получим:

$$dF_1 = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1I_2 dl}{a}$$

Тогда можно записать:

$$dF = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1I_2 dl}{a}$$

Сила F , действующая на участок проводника конечной длины l , численно равна:

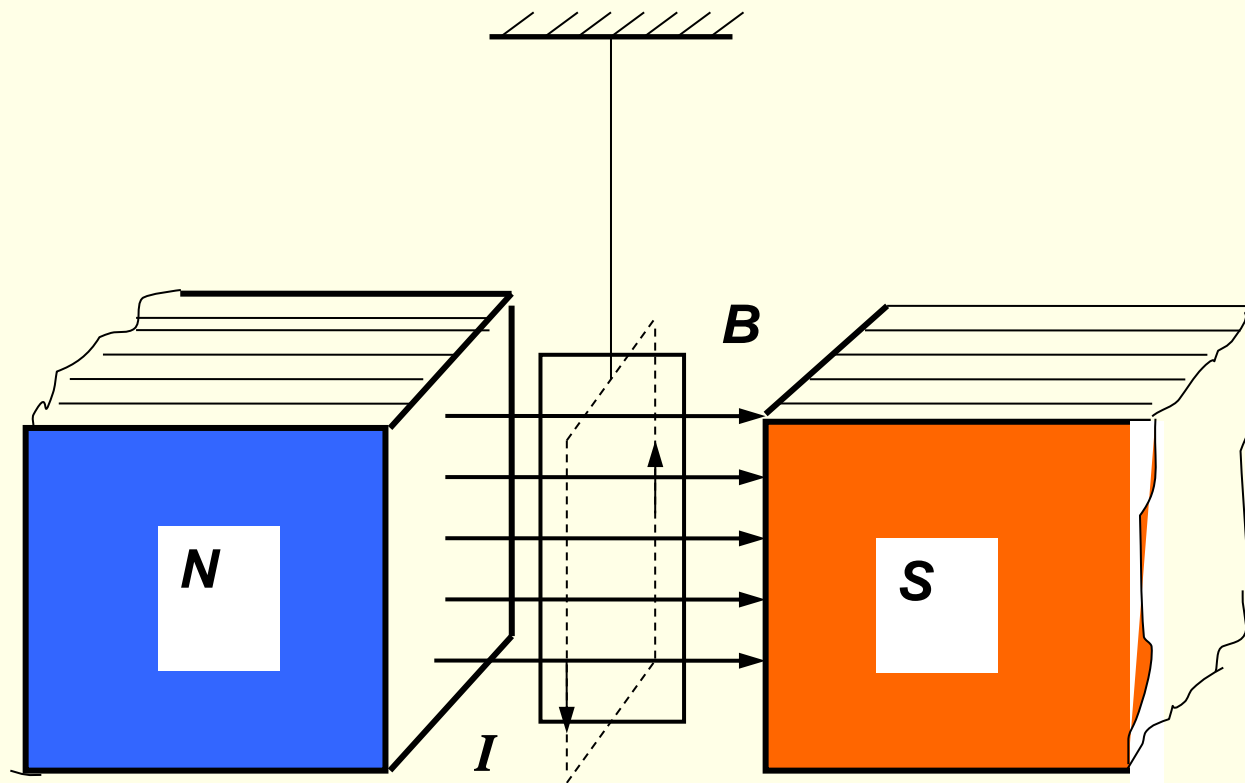
$$F = \int_0^l dF = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1I_2 dl}{a} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1I_2}{a} l$$

Единица силы тока - Ампер

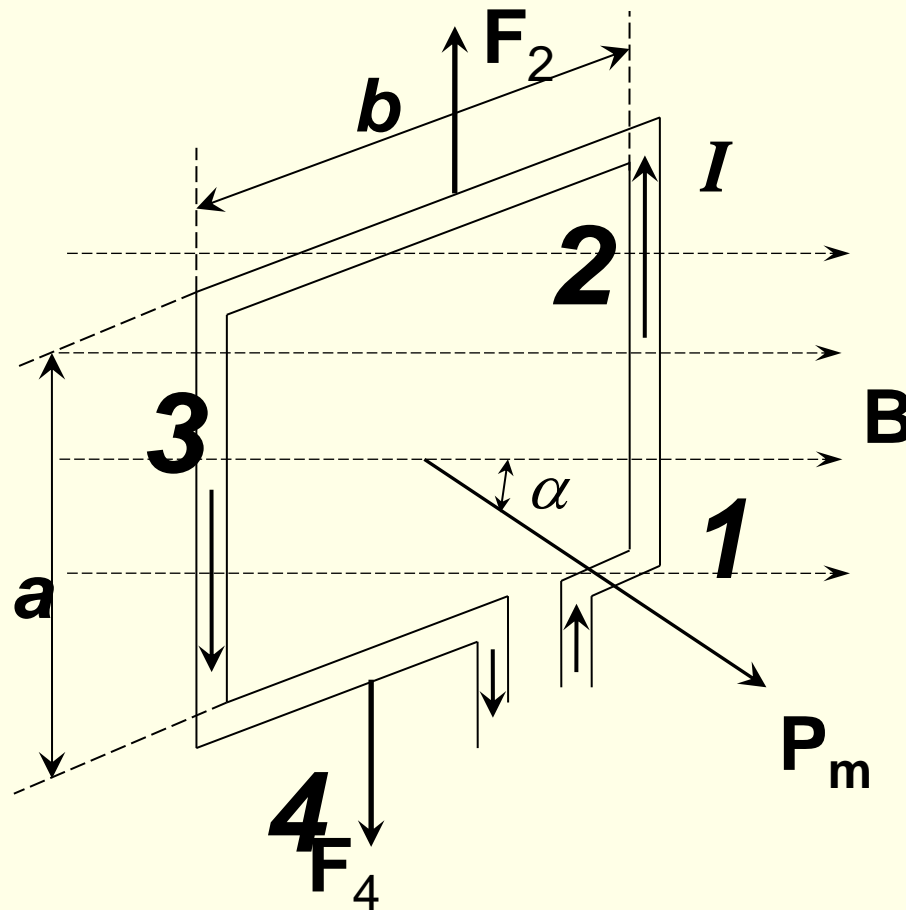
1 Ампер (А) – это сила такого постоянного тока, при прохождении которого по двум прямолинейным бесконечно длинным проводникам, находящимся в вакууме на расстоянии 1 метр друг от друга, сила их взаимодействия составляет $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

$$I = \sqrt{\frac{4 \pi a F}{2 \mu_0 l}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 1 \text{ м} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}}{2 \mu_0 \cdot 1 \text{ м}}} = 1 \text{ А}$$

Контур с током в магнитном поле



О направлении магнитного поля можно судить по ориентации в этом поле не только магнитной стрелки, но и *рамки с током*.

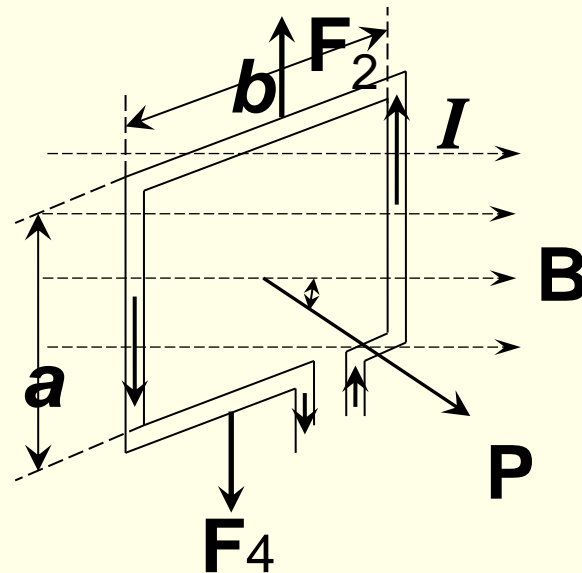


Силы, действующие на проводники 1-2 и 3-4:

$$F_1 = F_3 = IaB$$

Силы, приложенные к проводникам 2-3 и 4-1:

$$F_2 = F_4 = IbB \sin(90^\circ - \alpha) = IbB \cos \alpha$$



Силы, действующие на вертикальные стороны рамки, не проходят через ось вращения и образуют пару, момент которой $M_{кр}$ равен:

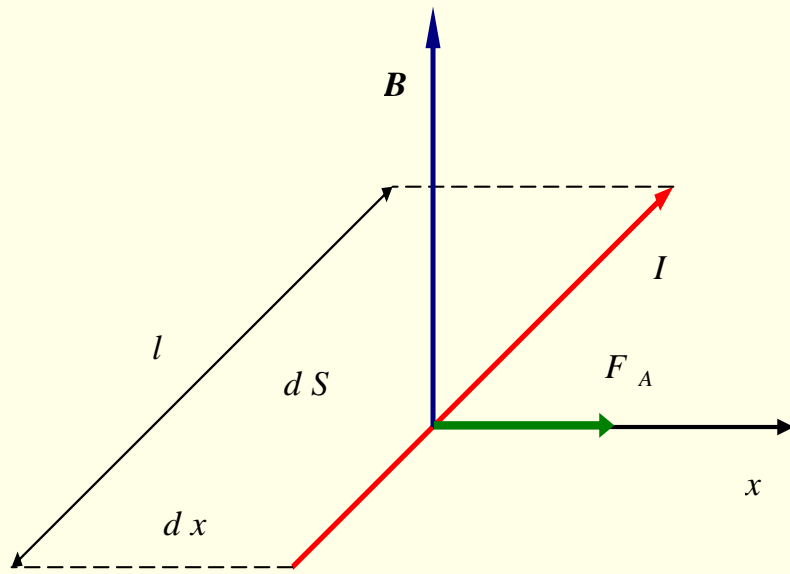
$$M_{кр} = F_1 l, \text{ где } l = b \sin \alpha$$

$$M_{кр} = IabB \sin \alpha = ISB \sin \alpha$$

Здесь: $S=ab$ – площадь рамки, IS – числовое значение P_m вектора магнитного момента рамки с током, α – угол между векторами P_m и B .

$$M_{кр} = P_m B \sin \alpha \quad \vec{M} = \left[\vec{P}_m \vec{B} \right]$$

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле



Вычислим работу сил Ампера по перемещению проводника с током в магнитном поле. При малом перемещении $d\vec{r}$ элемента $d\vec{l}$ проводника с током I работа силы Ампера $d\vec{F}$ равна:

$$\delta A = d\vec{F} d\vec{r}$$

С учетом

$$d\vec{F} = [Id \vec{l} \vec{B}]$$

$$\delta A = I [d\vec{l} \vec{B}] d\vec{r} = Id \vec{r} [d\vec{l} \vec{B}] =$$

$$= I\vec{B} [d\vec{r} d\vec{l}] = I\vec{B} d\vec{S}$$

$$\vec{B} d\vec{S} = d\Phi_m$$

$$\delta A = Id\Phi_m$$

Элементарная работа амперовых сил при малом перемещении проводника конечной длины равна:

$$\delta A = \int_l I d\Phi_m$$

Если проводник с $I = \text{const}$ совершает конечное перемещение, то:

$$A = I\Phi_m$$

Здесь $d\Phi_m$ – магнитный поток сквозь поверхность, очерчиваемую всем проводником при малом перемещении этого проводника.

Работа, совершаемая силами Ампера при перемещении в магнитном поле проводника, ток в котором постоянен, равна произведению силы тока на магнитный поток сквозь поверхность, которую прочерчивает проводник при своем движении.