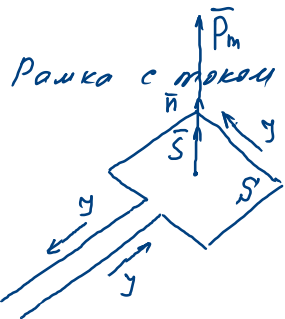


Электромагнетизм



Магнитное поле

$\vec{n}$ - вектор нормали к плоскости рамки, $|\vec{n}| = 1$; $n = 1$

S - площадь рамки

рамка плоская

$\vec{n}$ и направление тока связаны правилом буравчика

$$\vec{S} = S \cdot \vec{n} \quad \vec{p}_m = I S \vec{n} = I \vec{S} \quad - \text{магнитный момент рамки}$$

$$\vec{p} = \vec{p}_m = I \vec{S}$$

Рамка с током помещается в магнитное поле, действует момент сил $\vec{M}$

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}]; \quad \vec{B} - \text{магнитная индукция, вектор}$$

$$M = p_m B \cdot \sin \alpha$$

$$\alpha = 90^\circ; \sin \alpha = 1$$

$$M_{\max} = p_m \cdot B$$

$$\alpha = (\vec{p}_m, \vec{B})$$

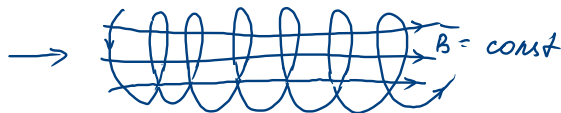
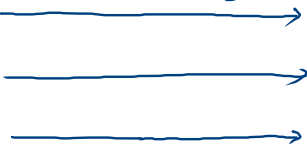
$$B = \frac{M_{\max}}{p_m}$$

Силловые линии - применяются для изображения магнитных полей

Силловые линии магн. поля всегда замкнуты

Магнитное поле - вихревое поле (силловые линии замкнуты)

$\vec{B} = \text{const}$ (однородное поле)



$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$

$\vec{H}$ - напряженность
магнитного
поля (в вакууме)

μ_0 - магнитная
постоянная

μ - магнитная
проницаемость
среды

$\mu < 1$; $\mu > 1$; $\mu \gg 1$

$\mu \approx 1$ - вакуум

Закон Био - Савара - Лапласа

$d\vec{l}$ - элемент проводника, вектор

$$\alpha = (\vec{dl}, \vec{r})$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu \gamma}{4\pi} \frac{[\vec{dl}, \vec{r}]}{r^3} - \text{закон Б-С-Л}$$

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

Направление вектора $d\vec{B}$ - правило буравчика

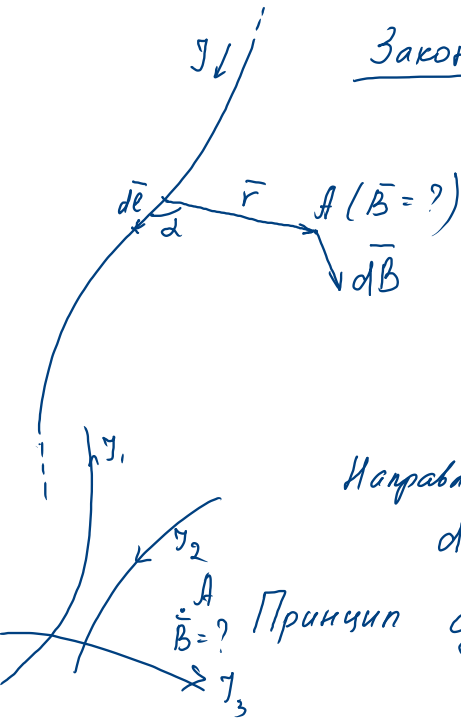
$$d\vec{B} \perp (\vec{dl}, \vec{r})$$

$\vec{B} = ?$

Принцип суперпозиции:

$$\vec{B} = \sum d\vec{B}_i \Rightarrow \vec{B} = \int_L d\vec{B}$$

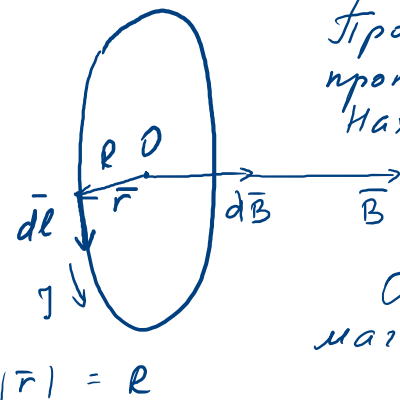
$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$



Расчет магнитных полей

1. Магнитное поле в центре кругового тока
 2. Магнитное поле от прямолинейного проводника с током
- } самостоятельное

1. Магнитное поле в центре кругового тока



Проводник в виде кольца, по которому протекает электрический ток I

Находим вектор магнитной индукции в т. O - центр кольца.

$d\vec{l}$ - элемент проводника, вектор

От элемента проводника $d\vec{l}$ с током I магнитная индукция
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I^2}{R^2} d\vec{l}$$

$$\alpha = (\vec{r}, d\vec{l}) = 90^\circ; \sin \alpha = 1$$

Необходимо просуммировать вектора $d\vec{B}$ от всех элементов $d\vec{l}$

От всех элементов проводника $\vec{d\vec{l}}$ с током I вектора магнитных индукций в центре кругового тока направлены в одну сторону (см. рисунок)

Таким образом

$$\vec{B} = \sum d\vec{B}_i \Rightarrow B = \sum dB_i$$

$$B = \int_L dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I}{R^2} \int_L dl = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I}{R^2} 2\pi R$$

L - окружность, длина которой

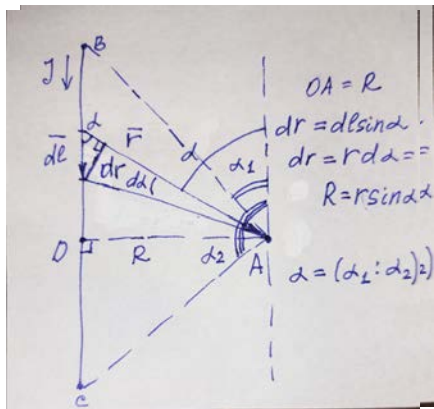
$$L = 2\pi R$$

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

$\vec{B} \perp$ плоскости окружности

Направление тока в кольце и направление вектора $\vec{B}$ в центре кольца связаны правилом буравчика.

2. Магнитное поле от прямолинейного проводника с током



Прямолинейный проводник BC с током I .
 т. A - находим величину и направление вектора магнитной индукции

R - расстояние от точки A до проводника BC ; $d\alpha$ - угол, под которым виден элемент проводника с током I

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi} \frac{[\vec{dl} \cdot \vec{r}]}{r^3} \Rightarrow dB = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi} \frac{dl \cdot r \sin \alpha}{r^3}$$

$$\alpha = (\vec{dl}, \vec{r}) - \text{см. рисунок} ; dl \cdot \sin \alpha = r d\alpha ; dl = \frac{r \cdot d\alpha}{\sin \alpha}$$

$$dB = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi} \frac{dl \cdot \sin \alpha}{r^2} = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi} \frac{r d\alpha \sin \alpha}{\sin \alpha r^2} = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi} \frac{d\alpha}{r}$$

$$r = \frac{R}{\sin \alpha}$$

$$dB = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi} \frac{d\alpha \cdot \sin \alpha}{R}$$

$$\alpha - \text{перемещенная}$$

$$\alpha = (\alpha_1; \alpha_2)$$

Вектор $\vec{dB} \perp$ плоскости, в к-й
лежат вектор $\vec{r}$ и проводник ВС.
В нашем случае $\vec{dB} \perp$ плоскости
экрана или мбга. Вектора от
всех элементов проводника с током J
направлены в одну сторону.

α_1 и α_2 - углы, под
которыми из точки А
видны концы провод-
ника В и С.

Таким образом,

$$\bar{B} = \sum d\vec{B}_i \Rightarrow B = \sum dB_i \Rightarrow B = \int dB$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi R} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = -\frac{\mu_0 \mu J}{4\pi R} \cos \alpha \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2} = -\frac{\mu_0 \mu J}{4\pi R} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

Если проводник бесконечный, то

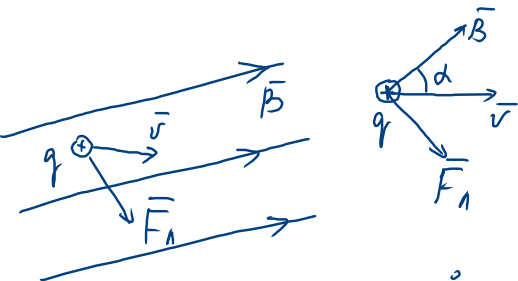
$$\alpha_1 = 0^\circ \quad \text{и} \quad \alpha_2 = 180^\circ$$

$$\text{и} \quad B = \frac{\mu_0 \mu J}{4\pi R} (1 + 1); \quad B = \frac{\mu_0 \mu J}{2\pi R}$$

Сила Лоренца

В магнитном поле движется электрический заряд, на него действует сила, сила Лоренца.

$$\vec{F}_L = q [\vec{v}, \vec{B}]$$

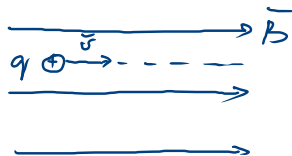


$$F_L = q v B \sin \alpha \quad \alpha = (\vec{v}, \vec{B})$$

$$\vec{F}_L \perp (\vec{v}, \vec{B})$$

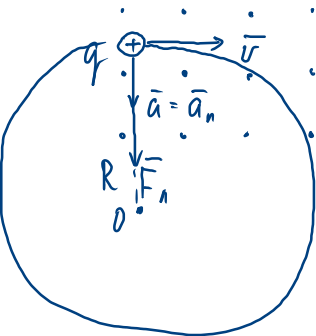
$\vec{F}_L$ - направление, правило буравчика

1. $\alpha = 0^\circ; 180^\circ \quad \vec{v} \parallel \vec{B} ; \quad \vec{F}_L = 0$



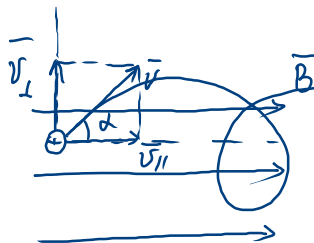
2. $\alpha = 90^\circ; \quad \vec{v} \perp \vec{B}$

..... $\vec{B}$ $\vec{a} = \vec{a}_n = \frac{\vec{F}_n}{m} = \frac{q[\vec{v} \times \vec{B}]}{m}$



$$\frac{v^2}{R} = \frac{qvB}{m}; \quad \left(\frac{v}{R} = \frac{qB}{m} \right)$$

3.



$$\vec{v} = \vec{v}_\perp + \vec{v}_\parallel \quad \alpha = (\vec{v}, \vec{B})$$

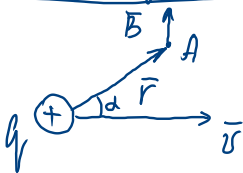
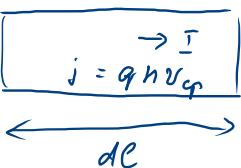
$$v_\perp = v \cdot \sin \alpha$$

$$R; \quad e = ?$$

$$v_\parallel = v \cdot \cos \alpha$$

Магнитное поле движущегося заряда

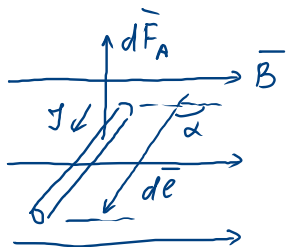
$\mu = 1$ вакуум



$$\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} q \frac{[\vec{v} \vec{r}]}{r^3} \quad v \ll c$$

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} q \frac{v}{r^2} \sin \alpha$$

Правило Буревизка



Сила Ампера

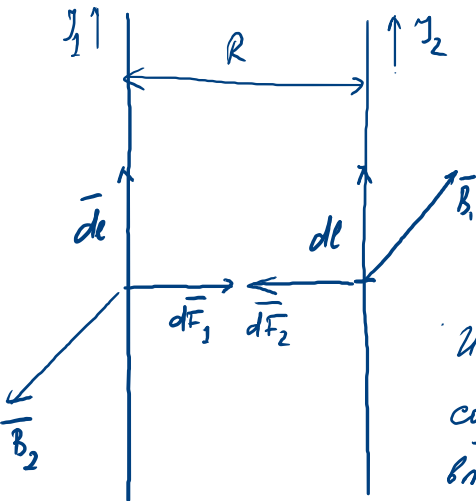
$$d\vec{F}_A = \gamma [d\vec{\ell}, \vec{B}]$$

$$dF_A = \gamma d\ell B \sin \alpha$$

$$\alpha = (\vec{d\ell}, \vec{B})$$

Правило Буревизка или
правило левой руки

Взаимодействие параллельных токов



Токи в проводниках I_1 и I_2 создают магнитные поля, в которых и находится взаимно проводники с токами.

Проводники $\parallel$ друг другу.

Итак ток I_1 в первом проводнике создает на расстоянии R , где находится второй проводник с током I_2 , магнитное поле $B_1 = \frac{\mu_0 \mu_0 I_1}{2\pi R}$. Во всех точках второго проводника $\vec{B}_1 = \text{const}$

Направление $\vec{B}_1$ определено согласно правилу буравтика.

Согласно схеме $\vec{B}_1 \perp$ плоскости экрана и направлено за него.

На элемент 2-го проводника $d\vec{l}$ действует сила Ампера

$$d\vec{F}_2 = \mu_2 [d\vec{l} \cdot \vec{B}_1]$$

$$dF_2 = \mu_2 dl B_1 \sin \alpha, \text{ где } \alpha = (\vec{dl}, \vec{B}_1) \text{ и } \alpha = 90^\circ$$

$$\text{Т.о. } dF_2 = \mu_2 dl B_1 \text{ и } dF = \frac{\mu_0 \mu_1 \mu_2}{2IR} dl$$

Направление $d\vec{F}_2$ определено таким же по правилу буравтика, см. рисунок

И обратно проводник с током I_1 находится в магнитном поле от проводника с током I_2

$$d\vec{F}_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi R} d\vec{L} ; \text{ Направление } d\vec{F}_1 \text{ определяем}$$

также согласно правилу
буравтика, см. рисунок

$$d\vec{F}_1 = -d\vec{F}_2 \quad (\text{Третий закон Ньютона})$$

Обратите внимание, что сила $d\vec{F}_1$ или $d\vec{F}_2$ — это сила, действующая на элемент проводника dL , по которому протекает соответствующий ток.

Итак:

$$dF = dF_1 = dF_2 = \frac{\mu_0 \mu_1 I_1 I_2}{2\pi R} d\theta$$

Если токи направлены в одну сторону, то проводники с токами притягиваются, и наоборот, проводники с противоположными токами отталкиваются.