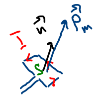
§ Магнитное поле в вакууме

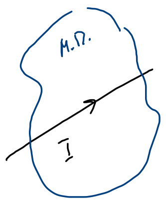
„Рамка с током"



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

$\vec{n}$ – положит. нормаль (связана с направл. тока по правому/прав. винта)

$[p_m] = А \cdot м^2$



Для описания М.П. исп-ся плоский замкнут. контур очень малых размеров (= микроскопический пробный контур)

Микроск. контур устан-ся в равнов. пол-е

Пусть: $\vec{n}_0$ – равновесн. полож-е положит. нормали

Если вывести контур из равнов-я ⇒ б. действ-ть вращающий момент

$M \sim I \cdot S \cdot \sin(\widehat{\vec{n}, \vec{n}_0})$ где: $\vec{n}$ – текущее полож-е вектора нормали

Видно, что $\exists\ M_{max}$ (максимальн. вращ. момент)

$M = M_{max} \Leftrightarrow \vec{n} \perp \vec{n}_0$ $\qquad M_{max} \sim I \cdot S = p_m$

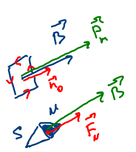
На разные рамки с током в данной точке поля б. действ-ть разные M_{max}

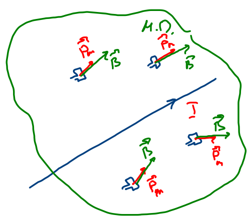
$M_{max} \sim p_m$

Но отношение $\frac{M_{max}}{p_m}$ остается неизменн.

$$\frac{M_{max}}{p_m} = const \equiv B$$ – магнитная индукция !

За направл. магнитн. инд-и B принимается направление $\vec{n}_0$ рамки с током, помещ-ой в данную точку поля (или направл. силы, действ-ей на северный полюс магнитн. стрелки)





Итак, М.П. – особый вид материи, связанный с движ-ся зарядами (токами), ...

М.П. хар-ся в $\forall$ точке $\vec{B}$ (магнитной индукцией):

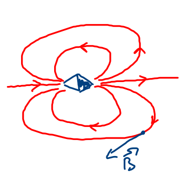
$$\vec{B} = \begin{cases} \text{направлена по } \vec{n}_0 \\ B = \frac{M_{max}}{p_m} \end{cases}$$

$[B] = Тл$ „Тесла"

Физ. смысл: B – магн. инд-я однородн. поля, в кот-м на контур с $p_m = 1\,А \cdot м^2$ действ-т максимальный вращ. момент $M_{max} = 1\,Н \cdot м$

Вводят линии магнитной индукции – линии, касательн. к которым совпадают с $\vec{B}$

Ранее: $E = \frac{F}{q}$ ⇒ аналогия



Строят линии $\vec{B}$ также как строили $\vec{E}$

густота линий B: $\gamma_B = \frac{\Delta N}{\Delta S_\perp} = B$

где: ΔN – кол-во линий $\vec{B}$, пересекающих $\perp$ площадку $\Delta S_\perp$

§ Закон Био-Савара-Лапласа

Для магнитн. индукц. $\vec B$ справ-в принцип суперпозиции:

$\vec B = \sum_i \vec B_i$ где: $\vec B_i$ — магнитн. инд-я i-го токового участка

Если токовый участок элементарный (∞-малый):

$\Rightarrow \vec B = \int d\vec B$ где: $d\vec B$ — магн. инд., создаваемая элемент-м участком тока

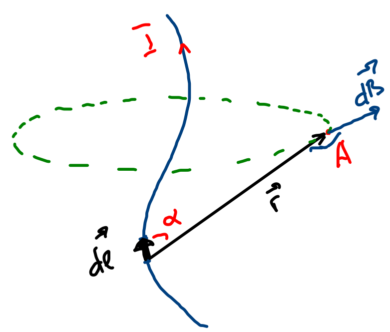
Био и Савар (1820 г.) исслед. поле от разных токов

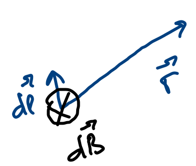
Лаплас обобщил их эксп. данные и установил:

$$\boxed{d\vec B = k\cdot\frac{I\cdot[d\vec l, \vec r]}{r^3}}$$ — зак. Био-Савара-Лапласа

где: $d\vec l$ - вектор, по модулю равный длине dl эл-та проводника и совпад-й по направл. с током

$\vec r$ - рад.-вектор, провед-й из элемента $d\vec l$ в точку наблюд-я (т. A) поля





k — коэф-т пропорц-ти:

„СИ": $k = \frac{\mu_0}{4\pi}$; μ_0 - магнитная постоянная

$\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}\ \frac{Гн}{м}$

„СГС": $k = \frac{1}{c}$

c - скор. света

$\Rightarrow$ в „СИ": $$d\vec B = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{I\cdot[d\vec l, \vec r]}{r^3}$$

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

α - угол м/у $d\vec l$ и $\vec r$

— магн. инд-я, создаваемая элемент-м токовым отрезком dl в точке, наход-ся на расст. r от него.

$d\vec B \perp$ плоскости векторов $d\vec l$ и $\vec r$.

§ Магнитное поле движущегося заряда

Рассм. элемент. токовый отрезок:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3}$$

т.к. $I = j \cdot S$ j – плотн. тока, S – площадь попер. сечения

$$I \cdot d\vec{l} = S \vec{j}\, dl$$ т.к. $\vec{j} \uparrow\uparrow d\vec{l}$

если заряды одинаковы:

$$\vec{j} = e \cdot n \cdot \vec{v}$$

n – концентр-я
$\vec{v}$ – скор-ть движ-я носит. заряда

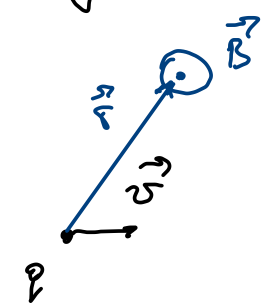
$$\Rightarrow d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{[I d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{[S \cdot dl \cdot e \cdot n \cdot \vec{v}, \vec{r}]}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{S \cdot dl \cdot e \cdot n\, [\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}$$

Заметим: $n \cdot S \cdot dl = dN$ – кол-во носителей заряда в отрезке dl

$$\Rightarrow \vec{B} = \frac{d\vec{B}}{dN} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{e[\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}$$ – магн. инд-я $\vec{B}$ поля, создаваемая зарядом e, движ-ся со скор-тью $\vec{v}$

заменив: $e \equiv q$ $\Rightarrow$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot [\vec{v}, \vec{r}]}{r^3}$$!



где: $\vec{r}$ – вектор, провед-й от заряда в точку поля

– справедливо при $v \ll c$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q \cdot v \cdot r \cdot \sin(\widehat{\vec{v}, \vec{r}})}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \cdot v \cdot \sin\alpha}{r^2}$$

α – угол м/у $\vec{v}$ и $\vec{r}$

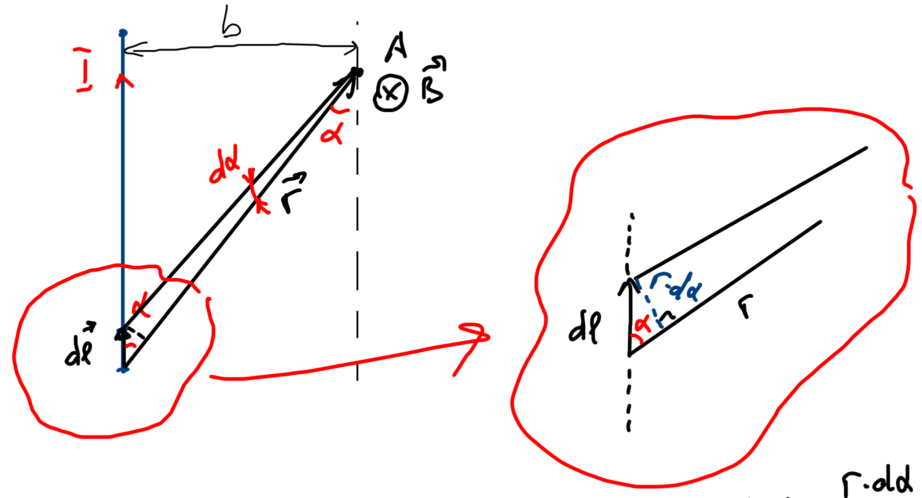
§ Магнитн. поле прямого отрезка (тока)

Расс-м токовый отрезок. Его участок $d\vec{l}$ создаёт:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{I\,[d\vec{l}, \vec{r}\,]}{r^3}$$

$$\Downarrow$$

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

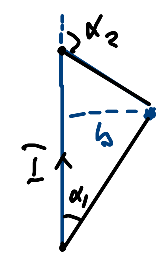


$$\sin\alpha = \frac{r\cdot d\alpha}{dl}$$

из рис: $r = \dfrac{b}{\sin\alpha}$

$$dl = \frac{r\cdot d\alpha}{\sin\alpha}$$

$$\Rightarrow\ dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\, I\,\frac{d\alpha}{\sin\alpha}\,\frac{b}{\sin\alpha}\cdot\frac{\sin^2\alpha}{b^2}\cdot\sin\alpha = \frac{\mu_0}{4\pi}\,\frac{I}{b}\cdot\sin\alpha\cdot d\alpha$$



Для всего токового отрезка:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\cdot\frac{I}{b}\cdot\int_{\alpha_1}^{\alpha_2}\sin\alpha\, d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi b}(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

α_1 и α_2 – углы под кот-ми видна точка A из „начала“ и „конца“ токового отрезка

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi\cdot b}\cdot(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)\ \ !$$

Магнитное поле от ∞-длинного проводника: $\alpha_1 \to 0$ $\alpha_2 \to \pi$

$$\Rightarrow\ B = \frac{\mu_0\cdot I}{4\pi b}(1+1) = \frac{\mu_0\cdot I}{2\pi\cdot b}$$