## 12 Магнитное поле в веществе. Магнитная индукция и напряжённость поля. Вектор намагниченности. Токи проводимости и молекулярные токи.

магнитное поле в веществе

внешнее поле — циркулирующие в этом в-ве токи.

на микроуровне поле резко меняется во времени и пр-ве это поле назыв. микрополем. $\vec{B}_{микро}$

среднее поле: $\vec{B} = \frac{1}{\Delta V}\int_{\Delta V} \vec{B}_{микро}\, dV$

**definition**

**токи проводимости** связанные с перемещением свободных зарядов и являются сторонними по отношению к веществу

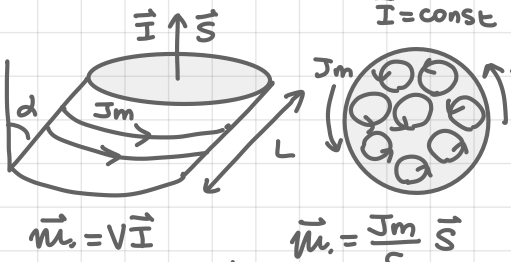
**молекулярные токи** обусловлены орбитальным движением и собственным моментом импульса электронов в атомах и ядер вещ-ва

**definition**

**вектор намагничивания (намагниченность)** — магнитный момент единичн. объёма вещества

$$\vec{I} = \frac{d\vec{m}}{dV}$$

однородная $\vec{I} = const$ — неоднородная $\vec{I} \neq const$




Jm — поверхностный ток (молекулярные токи, циркулирующие в сечении цилиндра, компенсируют друг друга всюду, кроме боковой поверхности)

$\vec{m} = V\vec{I}$ $\qquad$ $\vec{m} = \frac{J_m}{c}\vec{S}$

$V = LS\cos\alpha = \vec{L}\vec{S}$

$$\Downarrow$$

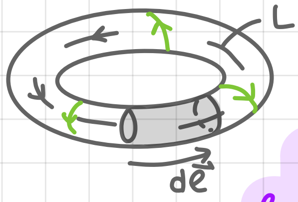
$$LS\cos\alpha\, \vec{I} = \frac{J_m}{c}\vec{S}$$

$$I\cos\alpha = \frac{J_m}{cL}$$

$\left[ i_m = \frac{J_m}{L} \right.$ — лин. плотность тока$\left.\right]$

$i_m = cI_L$ — проекция $\vec{I}$ на $\vec{L}$

теперь выберем в веществе произвольный замкнутый контур L и возьмём тор вокруг него.




по бок. пов-ти элементарного цилиндра:

$$dJ_m = i_m dl = cI_l dl = c\vec{I} d\vec{l}$$

полный ток намагничивания, пересек. контур L, равен.

связь молекулярного тока с вектором $\vec{I}$ в инт. форме

$$J_m = c\oint \vec{I} d\vec{l}$$

по th Стокса $J_m = c\int_S rot\,\vec{I}\, d\vec{S}$, где S — поверхность, опир. на контур L.

с другой стороны, $J_m = \int_S \vec{j}_m d\vec{S}$ $\Rightarrow$

связь молекулярного тока с вектором $\vec{I}$ в дифференциальной форме

$$\vec{j}_m = c\, rot\, \vec{I}$$

## Теорема о циркуляции магнитного поля в веществе. Граничные условия на границе двух магнетиков.

$J_m = c\oint \vec{I} d\vec{l}$

по th о циркуляции: $\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \frac{4\pi}{c}(J + J_m)$ — ток проводимости ($J$)

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \frac{4\pi}{c}\left(J + c\oint_L \vec{I} d\vec{l}\right)$$

введём обозначение

**definition**

**напряжённость магнитного поля** $\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{I}$ $\Rightarrow$

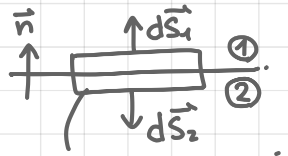
теорема о циркуляции для магнитного поля в веществе в интегральной форме

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \frac{4\pi}{c}J$$

$rot\,\vec{B} = \frac{4\pi}{c}(\vec{j} + \vec{j}_m)$

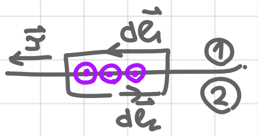
$\vec{j}_m = c\, rot\, \vec{I}$

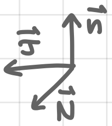
$\Rightarrow rot\,\vec{H} = \frac{4\pi}{c}\vec{j}$ —//— в дифф. форме



бесконечно малый

$$\oint_S \vec B\, d\vec S = 0 \Rightarrow \vec B_1 d\vec S_1 + \vec B_2 d\vec S_2 = 0$$
$$d\vec S_1 = -d\vec S_2 = \vec n\, dS$$
$$\Downarrow$$
$$B_{1n} = B_{2n}$$





$$\oint_L \vec H\, d\vec l = \frac{4\pi}{c} J \text{ — т-ма о циркуляции}$$
$$\vec H_1 d\vec l_1 + \vec H_2 d\vec l_2 = \frac{4\pi}{c} i_N\, dl$$
$$H_{1\tau} - H_{2\tau} = \frac{4\pi}{c} i_N$$

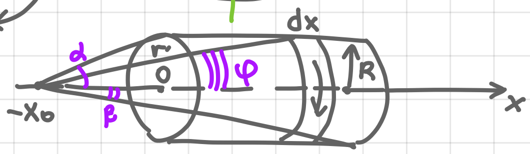
Пусть $\vec\tau = \vec N \times \vec n$, тогда $(\vec H_1 - \vec H_2)\vec\tau = \frac{4\pi}{c} i_N$

$$(\vec H_1 - \vec H_2)(\vec N \times \vec n) = \frac{4\pi}{c} i_N$$
$$(\vec n \times (\vec H_1 - \vec H_2))\vec N = \frac{4\pi}{c} \vec i \cdot \vec N$$
$$\vec n \times (\vec H_1 - \vec H_2) = \frac{4\pi}{c} \vec i$$

## Постоянные магниты

постоянный магнит — ферромагнитное в-во с постоянной намагниченностью

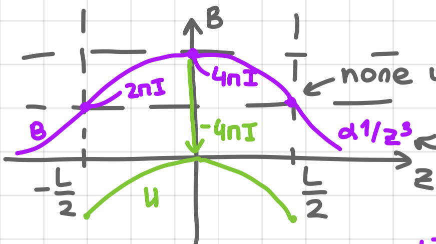
$$i_m = cI = \frac{J_m}{\ell}$$



$\left[B_x = \frac{2\pi R^2 J}{c r^3}\right.$ — от. кольца $\left.\right]$

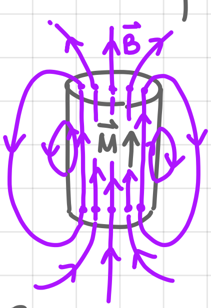
$$dB_x = \frac{2\pi R^2 i_m\, dx}{c r^3} = \frac{2\pi i_m\, dx}{cR} \sin^3\varphi$$
$$\operatorname{ctg}\varphi = \frac{x + x_0}{R} \Rightarrow dx = -\frac{R\, d\varphi}{\sin^2\varphi}$$
$$\Rightarrow B_x = -\frac{2\pi i_m}{c} \int_\alpha^\beta \sin\varphi\, d\varphi$$
$$B_x = \frac{2\pi i_m}{c}(\cos\beta - \cos\alpha)$$

$$B_x = \frac{2\pi i_m}{c}\left(\frac{L + x_0}{\sqrt{(L+x_0)^2 + R^2}} - \frac{x_0}{\sqrt{x_0^2 + R^2}}\right) = 2\pi I\left(\frac{L/2 - z}{\sqrt{(\frac{L}{2} - z)^2 + R^2}} - \frac{L/2 + z}{\sqrt{(\frac{L}{2} + z)^2 + R^2}}\right)$$
$$\left[z = -x - \frac{L}{2}\right]$$

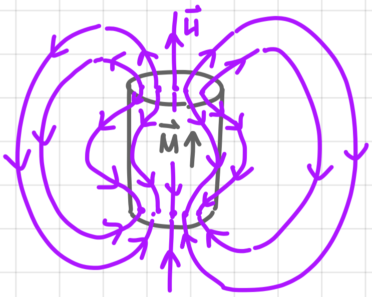



← поле на торцах в 2 раза меньше, чем поле в центре

← на ∞ магнит. $\propto$ магнитному моменту, а поле магнитного момента $\propto$ поле диполя $\propto 1/r^3$




$B_n = const$
$B_\tau \neq const$




$H_n \neq const$
$H_\tau = const$