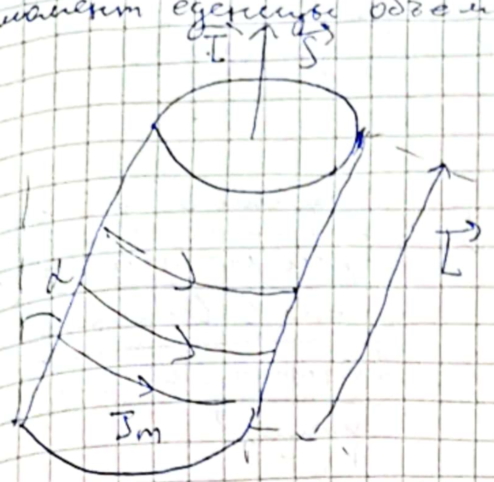
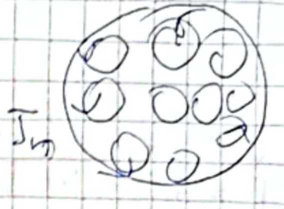
12 Магнитное поле в веществе. Магнитная индукция и напряжённость поля. Вектор намагниченности. Токи проводимости и молекулярные токи.

Молекулярные токи обусловлены орбитальным движением и спином электронов в атомах и ядер вещества

Вектор намагниченности $\vec{I} = \frac{d\vec{m}}{V}$ — магнитный момент единицы объёма



$$\vec{m} = V\vec{I}$$

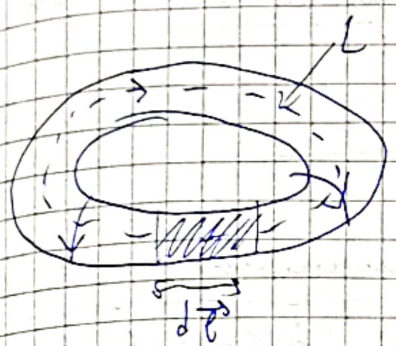


$$\vec{m} = \frac{J_m}{c}\vec{S}$$

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

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

$$i_m = \frac{J_m}{L} \qquad I_L = I\cos\alpha$$



на 1-цу длины контура приходится ток намагничивания $i_m = cI_L$

по боковой поверхности элементарного цилиндра течёт поверхностный ток

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

$J_m = c\oint_L \vec{I}d\vec{l}$ — связь молекулярного тока с вектором намагничивания в интегральной форме

$\Rightarrow$ т. Стокса $\quad J_m = c\int_S \mathrm{rot}\,\vec{I}\,d\vec{S}$

$$J_m = \int_S \vec{j}_m d\vec{S}$$

в виду произвольности L и S $\quad \vec{j}_m = c\,\mathrm{rot}\,\vec{I}$ — связь вектора намагничивания и молекулярного тока в дифференциальной форме

Теорема о циркуляции

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

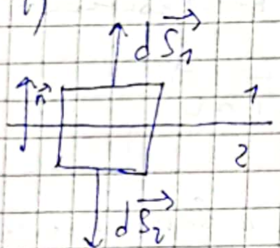
$$\vec{H} = \vec{B} - 4\pi\vec{I} \Rightarrow \oint_L \vec{H}\,d\vec{l} = \frac{4\pi}{c} J$$ – теорема о циркуляции магнитного поля в веществе в интегральной форме

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{rot}\vec{B} &= \frac{4\pi}{c}(\vec{j} + \vec{j}_m) \\ \vec{j}_m &= c\operatorname{rot}\vec{I} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \operatorname{rot}\vec{B} = \frac{4\pi}{c}(\vec{j} + c\operatorname{rot}\vec{I})$$

$$\Rightarrow \operatorname{rot}\vec{H} = \frac{4\pi}{c}\vec{j}$$ – теорема о циркуляции магнитного поля в веществе в диф. форме

Граничные условия:

1) Т Гаусса для б.м. прямоугольного парал.



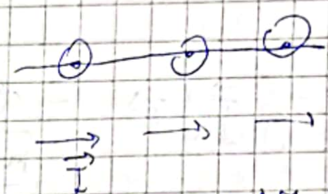
$$\oint \vec{B}\,d\vec{S} = 0$$

$$\vec{B}_1 d\vec{S}_1 + \vec{B}_2 d\vec{S}_2 = 0$$

$$d\vec{S}_1 = -d\vec{S}_2 = \vec{n}\,dS$$

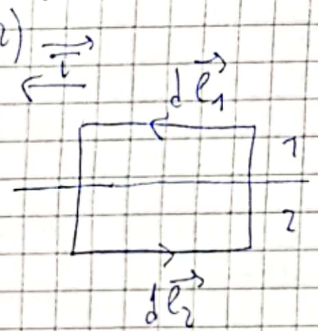
$$(\vec{B}_1 - \vec{B}_2)\vec{n} = 0 \Rightarrow B_{1n} = B_{2n}$$

3) $\oint \vec{I}\,d\vec{l} = \frac{1}{c}\int \vec{j}_m d\vec{S}$



$I_\tau l = \frac{1}{c} J_m \Rightarrow \Delta I_\tau = \frac{i_m}{c}$

2) Т о циркуляции к б.м. контуру



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

$$\vec{H}_1 d\vec{l}_1 + \vec{H}_2 d\vec{l}_2 = \frac{4\pi}{c} i_N\,dl$$

i_N – линейная плотность тока, $\perp$ контур по нормали к нему

$d\vec{l}_2 = -d\vec{l}_1$, $d\vec{l}_1 = \vec{\tau}\,dl$ $\quad (\vec{H}_1 - \vec{H}_2)\vec{\tau} = i_N \quad H_{1\tau} - H_{2\tau} = \frac{4\pi}{c} i_N$

Магнитные среды

Если магнитное поле слабое и в среде нет изначальной (собственной) намагниченности, то можно положить

$$\vec{I} = \varkappa \vec{H}$$

$\varkappa$ - магнитная восприимчивость

$\vec{B} = \vec{H} + 4\pi\vec{I}$ $\quad \vec{B} = \mu\vec{H}$ $\quad \mu = 1 + 4\pi\varkappa$

μ - магнитная проницаемость

среды, в которых $\mu = const$ - линейные магнитные среды

Во многих случаях $\mu = \mu(H) \neq const$

1) $\varkappa > 0$, $\mu > 1$ - парамагнетики Al, Pt, $FeCl_2$, O_2

связан с выстраиванием собственных магнитных моментов атомов (молекул) и электронов по направлению поля

2) $\varkappa < 0$, $\mu < 1$ диамагнетики Bi, Sb, Au, Si, H_2O, H_2, N_2

связан с возникновением магнитного момента у атомов (молекул) под действием внешнего магнитного поля, которые в отсутствие поля собственным магнитным моментом не обладают

3) вещества, которые могут сохранять намагниченность $\vec{I} \neq 0$ в отсутствие внешнего магнитного поля - ферромагнетики

связано с электрическим взаимодействием между атомами (молекулами) вещества, приводящим к выстраиванию их магнитных моментов в одном (общем) направлении