

Магнитное поле в веществе

1. Непроводящий тонкий диск радиуса R , равномерно заряженный с поверхностной плотностью заряда σ вращается вокруг своей оси с угловой скоростью ω . Найти а) индукцию магнитного поля в центре диска б) магнитный момент диска

Ответ: $B = \mu_0 \sigma \omega R / 2$; $p_m = \pi \sigma \omega R^4 / 4$

2. Принимая, что электрон в невозбужденном атоме водорода движется по круговой орбите радиусом $r = 52,8$ пм, определите магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

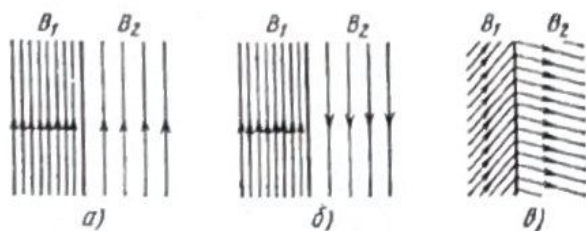
Ответ: $p_m = \frac{e^2}{4} \sqrt{\frac{r}{\pi \epsilon_0 m}}$

3. В однородное магнитное поле вносится длинный вольфрамовый стержень (магнитная проницаемость вольфрама $\mu = 1,0176$). Определить, какая доля суммарного магнитного поля в этом стержне определяется молекулярными токами.

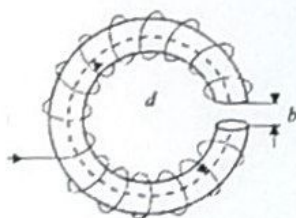
Ответ: 1,73%

4. Пластина из материала с магнитной проницаемостью μ помещена в однородное магнитное поле так, что нормаль к ее поверхности составляет угол α к полю. Определить величину и направление векторов \mathbf{B} и \mathbf{H} в пластине.

5. Проводящую плоскость с током поместили во внешнее однородное магнитное поле. В результате индукция магнитного поля с одной стороны плоскости оказалась B_1 , а с другой стороны B_2 . Найти магнитную силу, действующую на единицу поверхности плоскости в случаях, показанных на рис. Выяснить, куда направлен ток в плоскости в каждом случае.



6. На железном сердечнике в виде тора со средним радиусом $R = 250$ мм имеется обмотка с общим числом витков $N = 1000$. В сердечнике сделана поперечная прорезь шириной $b = 1,00$ мм. При токе $I = 0,85$ А через обмотку индукция магнитного поля в зазоре $B = 0,75$ Тл. Пренебрегая рассеянием магнитного потока на краях зазора, найти магнитную проницаемость железа в этих условиях.

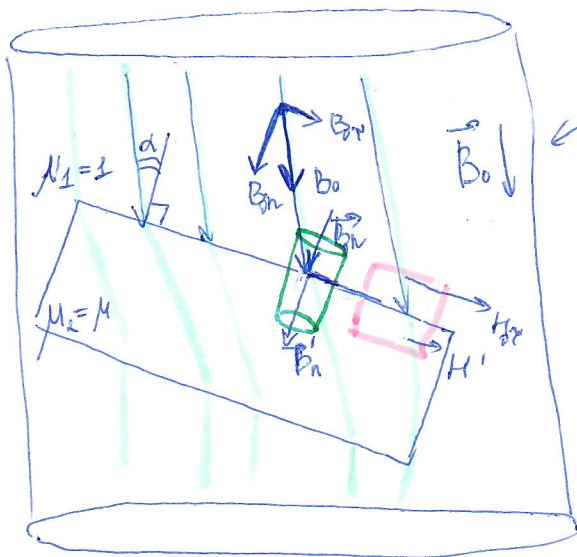


Ответ: 3700

7. Какой ток нужно пустить по длинному и тонкому однослойному соленоиду с плотностью намотки n витков на сантиметр, чтобы индукция B была равна индукции постоянного магнита тех же размеров? Намагниченность J постоянна и направлена по оси.

Ответ: J/n

4



катушка - соленоид

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H} \quad \text{там, где } \mu_1 = 1$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \Rightarrow \vec{B} \text{ чаше } \vec{H}$$

$B_n \perp$ поверхности пластинки $B_n = B_0 \cos \alpha$

$B_{\tau} \parallel$ поверхности пластинки $B_{\tau} = B_0 \sin \alpha$

$$\vec{B}_n + \vec{B}_{\tau} = \vec{B}_0 \quad (B_0) = \sqrt{B_n^2 + B_{\tau}^2}$$

Через боковые поверхности
поток = 0.

по теореме Гаусса (вспомогательная поверхность)

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$$

и рассмотрим пока только нормальные составляющие B_0 и B_n

$$\Rightarrow \vec{B}_n \cdot \vec{S} - B_n' \cdot \vec{S} = 0$$

$$\Rightarrow B_n = B_n'$$

\Rightarrow НОРМАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ B при переходе
МЕЖДУ СРЕДАМИ НЕ МЕНЯЕТСЯ.

$$\Rightarrow \mu_2 H_n' = \mu_1 H_{n0} \Rightarrow H_n' = \frac{\mu_1}{\mu_2} H_{n0} = \frac{H_{n0}}{\mu}$$

По теореме о циркуляции вектора H для рамки

Мы хотим узнать во сколько раз уменьшается $H_{0\tau}$ и H_{τ}'

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I \quad H_{0\tau} l_1 - H_{\tau}' l_2 = 0 \Rightarrow H_{0\tau} = H_{\tau}'$$

внутри контура ток равен 0

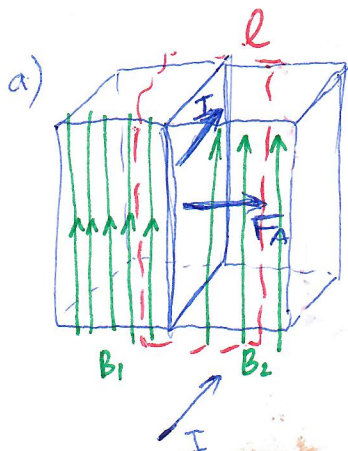
$$\Rightarrow I = 0$$

ТАНГЕНЦИАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ H при переходе
МЕЖДУ СРЕДАМИ НЕ МЕНЯЕТСЯ

$$\Rightarrow \mu B_{0\tau} = B_{\tau}'$$

$$B = \sqrt{B_n^2 + B_{\tau}^2} = \sqrt{(B_0 \cos \alpha)^2 + (\mu B_0 \sin \alpha)^2}$$

5



$$F = IB \cdot l - \text{ток провода}$$

$$F_{\text{пластины}} = I \cdot B_0 \cdot l \cdot x = IB_0 S$$

$$F = IB_0$$

$$B_1 = B_0 + B_m$$

$$B_2 = B_0 - B_m$$

$$\Rightarrow B_1 + B_2 = 2B_0 \Rightarrow$$

$$B_0 = \frac{1}{2} (B_1 + B_2)$$

$$B_1 l - B_2 l = \mu_0 I \Rightarrow I = \frac{B_1 - B_2}{\mu_0}$$

$$B_1 = B_0 + B_m \quad B_2 = B_0 - B_m$$

$$F = \frac{B_1 - B_2}{\mu_0} \cdot \frac{1}{2} (B_1 + B_2) = \frac{B_1^2 - B_2^2}{2\mu_0}$$

В б) поместить на \perp оси B

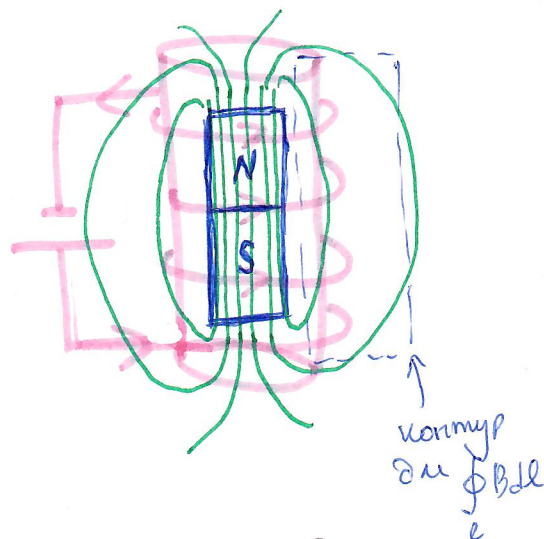
7. $n \text{ витков/см} = n \cdot 100 \text{ витков/м} = N \text{ витков/м}$

$I = ?$

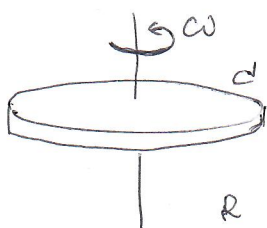
$B_c = B_m, J = \text{const}$ направления совпадают

$$\oint \vec{J} d\vec{l} = I_{\text{enc}} \quad \oint B dl = \mu_0 I N$$

$$I N = I_{\text{enc}} = J \cdot l \Rightarrow I = \frac{J \cdot l}{N} = \frac{J l}{n \cdot 100}$$



1



Диск можно разбить на концентрические цилиндрические элементы от центра.

$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2r}$ - поле кольца с током в центре, где $I = \frac{e \cdot 2\pi r \cdot dr \cdot \omega / 2\pi}{q} = d\omega r dr$

$$\Rightarrow B = \int_0^R B(r) dr = \int_0^R \frac{\mu_0}{2} \frac{d\omega r dr}{r} = \frac{\mu_0}{2} d\omega R \quad (a)$$

$\vec{P}_m = \int I \vec{S} \vec{n} \Rightarrow |P_m| = I \cdot S \Rightarrow$ для каждого маленького тока

в кольце $dP_m = IS = d\omega r dr \cdot S = d\omega r dr \cdot \pi r^2$

↑ площадь контура маленького тока

$$\Rightarrow \vec{P}_m = \int dP_m = \int_0^R d\omega r dr \pi r^2 = d\omega \pi \int_0^R r^3 dr = d\omega \pi \frac{R^4}{4} \quad (b)$$

2

Тогда создаваемый ток атомом: $I = \frac{e}{T}$ ← период

$P_m = I \cdot S = \frac{e}{T} \cdot \pi r^2$ Основное найми период:

Если считать, что электрон крутится вокруг

ядра только из-за электромагнитных сил взаимодействия

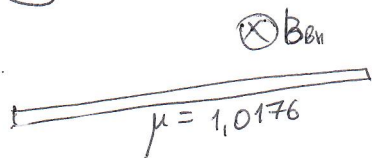
ядра и электрона, то $d = \frac{\vartheta^2}{r}$, где $a_m = F_{\text{эл}} = \frac{k e^2}{r^2}$

$$\Rightarrow \frac{m \vartheta^2}{r} = a_m = F_{\text{эл}} = \frac{k e^2}{r^2} \Rightarrow \vartheta = \sqrt{\frac{k e^2 r}{m}} = e \sqrt{\frac{k}{m r}} \quad \vartheta = \omega r = \frac{2\pi}{T} r$$

$$\Rightarrow e \sqrt{\frac{k}{m r}} = \frac{2\pi r}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi r \sqrt{m r}}{e \sqrt{k}} = \frac{2\pi r}{e} \sqrt{\frac{m r}{k}}$$

$$\Rightarrow P_m = \frac{e \cdot \pi r^2}{\frac{2\pi r}{e} \sqrt{\frac{m r}{k}}} = \frac{e^2}{2} r \sqrt{\frac{k}{m r}} = \frac{e^2}{2} \sqrt{\frac{k r}{m}}$$

3



$$B = \mu_0 \mu H$$

↑
учитываем
молекулярные токи

↑
не учитываем

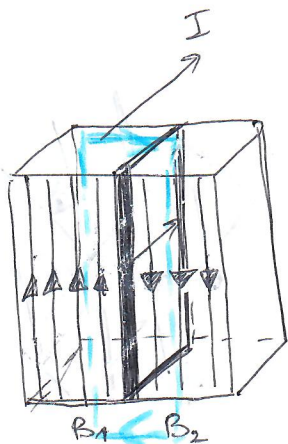
$$\Rightarrow B = B_{\text{вн}} + B_{\text{мол}} \text{ нужно найти } \frac{B_{\text{мол}}}{B}$$

$$B_{\text{мол}} = \mu_0 J = \mu_0 \chi H, \text{ где } \chi = \mu - 1$$

$$\Rightarrow B_{\text{мол}} = \mu_0 H (\mu - 1)$$

$$\Rightarrow \frac{B_{\text{мол}}}{B} = \frac{\mu_0 H (\mu - 1)}{\mu_0 \mu H} = \frac{\mu - 1}{\mu} = 0.0173 = 1.73\%$$

5 δ



$F_A = I B l$ - сила которой действует поле на 1 провод.

$$\Rightarrow \text{на пластину} - F_m = I B l \cdot S = I B$$

Это единичный объем

\Rightarrow чтобы посчитать силу нам нужно найти I и B

$$B_1 = B + B_{\text{мл}} \quad B_2 = B_{\text{мл}} = B \quad \Rightarrow B_{\text{мл}} = B_2 + B$$

$$\Rightarrow B_1 = B + B_2 + B \Rightarrow$$

$$2B = B_1 - B_2$$

$$\Rightarrow B = \frac{(B_1 - B_2)}{2}$$

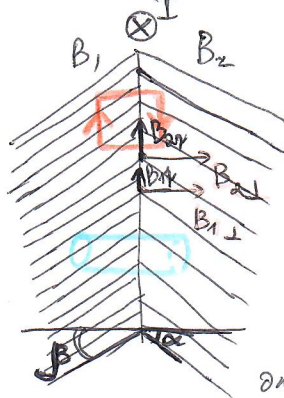
Ток можно посчитать через уравнение

$$\text{по контуру } K \quad B_1 \cdot l + B_2 \cdot l = \mu_0 I \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = \frac{B_1 + B_2}{\mu_0}$$

$$\Rightarrow F_A = \frac{(B_1 + B_2)(B_1 - B_2)}{\mu_0} = \frac{(B_1^2 - B_2^2)}{2\mu_0}$$

В)



$B_{2\perp} = B_{1\perp}$ по теореме Гаусса для такой

поверхности

$\Rightarrow B_2 \cos \alpha = B_1 \cos \beta$. А по теореме о циркуляции для такого контура

$$B_2 \sin \alpha + B_1 \sin \alpha = \mu_0 I$$

$F_{\text{пл}} = I B \cos \phi$ Перпендикулярная пластинке внешнее B

не действует на нее \Rightarrow его можно не считать, а для составляющей $B = \frac{(B_1 - B_2)}{2}$ как и в предыдущей задаче (5б)

$$\Rightarrow F = \frac{B_2 \sin \alpha + B_1 \sin \alpha}{\mu_0} \cdot \frac{B_1 \sin \alpha - B_2 \sin \alpha}{2\mu_0} = \frac{B_1^2 \sin^2 \alpha - B_2^2 \sin^2 \alpha}{2\mu_0}$$

$\Rightarrow R = 250 \text{ мм} = 0.025 \text{ м}$ Возьмем контур окружающий с центром тора (повдоль него)

по теореме о циркуляции:

$$I \cdot N \mu_0 = (2\pi R - d) B_{\text{внутр}} + d B_{\text{вн}}$$

Если не учитывать то, что сердечник - ферромагнетик.

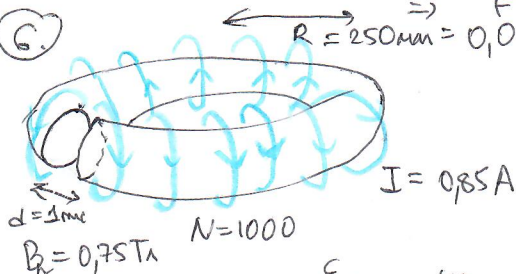
Тогда надо писать через H:

$$I N = (2\pi R - d) H - d B_{\text{вн}} \frac{1}{\mu_0}$$

$$\text{где } H = \frac{B}{\mu_0} \Rightarrow \mu = \frac{B_{\text{вн}}}{H \mu_0} = \frac{B_{\text{вн}}}{\mu_0} \frac{2\pi R - d}{I N - d B_{\text{вн}} \frac{1}{\mu_0}} \Rightarrow H = \frac{I N - d B_{\text{вн}} \frac{1}{\mu_0}}{2\pi R - d}$$

$$= \frac{0.75 \text{ Тл} \cdot (2 \cdot 3.14 \cdot 0.025 \text{ м} - 0.001 \text{ м})}{3.14 \cdot 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}}{\text{А}} \cdot 1000 \cdot 0.85 \text{ А} - 0.001 \text{ м} \cdot 0.75 \text{ Тл}} = 3679 \approx 3700$$

6.



$N = 1000$

$B_{\text{вн}} = 0.75 \text{ Тл}$

$I = 0.85 \text{ А}$