Серия 9.
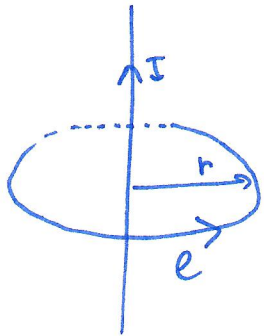
① а) магнитное поле прямого тока
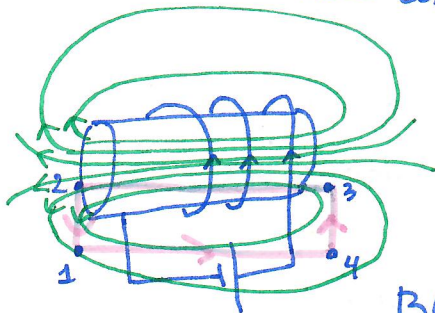

$$\oint_{\ell} \vec{B}\,d\vec{\ell} = \mu\mu_0 I$$

$$B \cdot \ell = \mu\mu_0 I$$

$$B\,2\pi r = \mu\mu_0 I \quad \Rightarrow \quad B = \frac{\mu\mu_0\,I}{2\pi r}$$
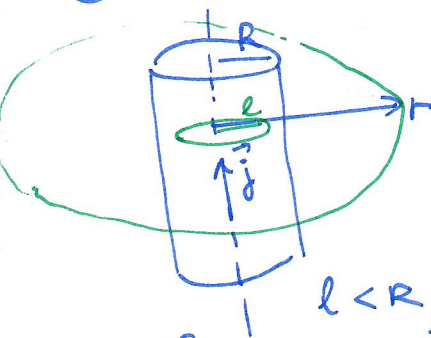
б) магнитное поле соленоида

Упрощение на участке:

1-4 — очень маленькое, считать не будем

2-1 и 4-3 нужно считать $\cos(\vec{B} \wedge d\vec{\ell}) = 0$

3-2 — считать надо

$$B\ell = \mu\mu_0 \cdot \underset{\text{кол-во витков}}{N} \cdot I \quad \Rightarrow \quad B = \frac{\mu\mu_0 NI}{\ell}$$
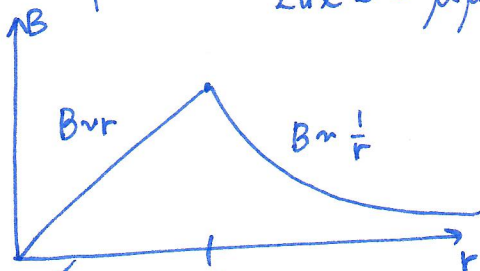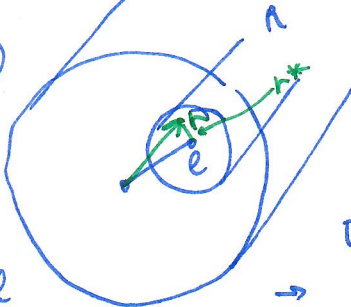
②

$$\oint_{\ell} \vec{B}\,d\vec{\ell} = \mu\mu_0 \sum I \qquad \sum I = |\vec{j}| \cdot \pi R^2$$

$$2\pi r B = \mu\mu_0 j \pi R^2 \quad \Rightarrow \quad B = \frac{\mu\mu_0 j \pi R^2}{2\pi r} = \frac{\mu\mu_0 j R^2}{2 r}$$

$$\ell < R \quad 2\pi \ell B = \mu\mu_0 j \pi \ell^2 \quad \Rightarrow \quad B = \frac{\mu\mu_0 j \ell}{2}$$

$B \sim r$ $\qquad$ $B \sim \frac{1}{r}$

⑤

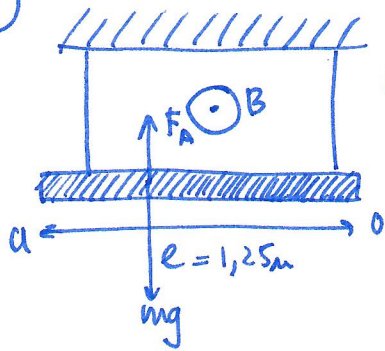
$$\frac{j,\ell}{B - ?}$$

$$B = B_{провода} - B_{полости}$$

$$B_{пров} \cdot 2\pi r = \mu\mu_0 j \cdot \pi r^2 \quad \Rightarrow \quad \overrightarrow{B_{провода}} = \mu\mu_0 \frac{[\vec{j} \times \vec{r}]}{2}$$

$$B_{полости} \cdot 2\pi r^* = \mu\mu_0 j \pi r^* \quad \Rightarrow \quad \overrightarrow{B_{полости}} = \mu\mu_0 \frac{1}{2}[\vec{j} \times \vec{r^*}]$$

$$\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{2}\left([\vec{j} \times \vec{r}] - [\vec{j} \times \vec{r^*}]\right) = \frac{\mu\mu_0}{2}\left[\vec{j} \times (\vec{r} - \vec{r^*})\right] = \frac{\mu\mu_0}{2}[\vec{j} \times \vec{\ell}]$$

6

$B = 2,5$ мТл $-\vec{F_A} = m\vec{g}$, $\vec{F_A} = I\vec{\ell} \times \vec{B}$

$I = \dfrac{U}{R_м}$ $\Rightarrow$ $mg = I\ell B = \dfrac{U}{R_м}\ell B \Rightarrow$

$\Rightarrow U = \dfrac{R_м \, mg}{\ell B} = \dfrac{\rho_{мед}\cdot \ell}{S} \cdot \dfrac{\rho \cdot Vg}{\ell B} = \dfrac{\rho_{мед}\cdot \ell \cdot \rho \cdot \ell g}{\ell B} =$

$= \dfrac{\rho_{мед}\, \rho g \ell}{B} = 0,75\,B$

3

$\ell < R$
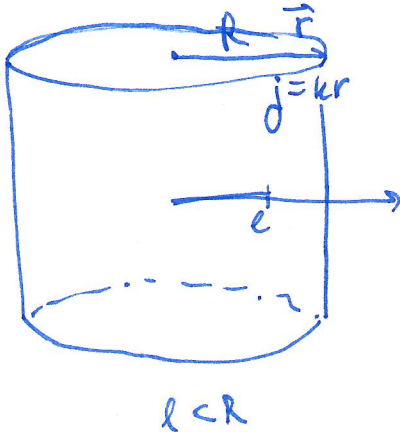
$\oint_\ell \vec{B}\,d\vec{\ell} = \mu\mu_0 \, \Sigma I$

$\Sigma I = \displaystyle\int_0^R 2\pi r^2 k\,dr = 2\pi k \dfrac{R^3}{3}$

$B = \dfrac{\mu\mu_0 \, 2\pi k R^3/3}{2\pi r} = \dfrac{\mu\mu_0 k R^2}{3r}$ — снаружи

$B_{внутр} = \dfrac{\mu\mu_0 \Sigma I}{2\pi\ell} = \dfrac{\mu\mu_0}{2\pi\ell}\displaystyle\int_0^\ell 2\pi\ell^2 d\ell = \dfrac{\mu\mu_0 \, 2\pi\ell^3}{3\cdot 2\pi\ell} = \dfrac{\mu\mu_0\ell^2}{3}$

4

$B = b r^\alpha$
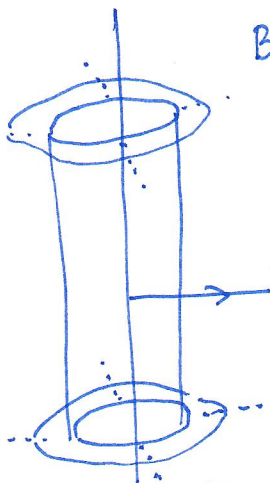
$\oint \vec{B}\,d\vec{\ell} = \mu_0 \Sigma I = \mu\mu_0 \displaystyle\int_0^r j\cdot 2\pi r\,dr = 2\mu\mu_0 \pi \dfrac{r^2}{2} j$

$b r^\alpha \cdot 2\pi r$ $b r^\alpha 2\pi r = \mu_0 \pi r^2 j$
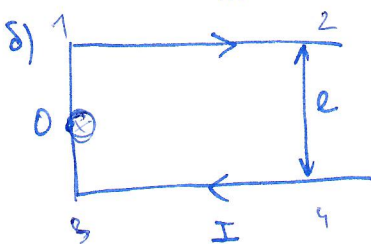
$j = \dfrac{2b r^{\alpha-1}}{\mu\mu_0}$

7 a)

$R = 10\,см$ $I = 8\,A$
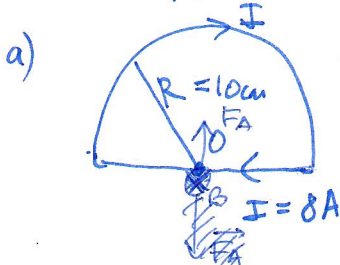
Магнитное поле в O будет создавать только дуга. $\Rightarrow$ Силу будет создавать только она

B в (·) равно $B = \dfrac{\mu_0 I}{8R^2}$ $\Rightarrow$ $B = \dfrac{\mu_0 I}{4R^2}$

$\Rightarrow \vec{F_A} = I\,d\vec{\ell}\times\vec{B}$ $\Rightarrow |F_A| = \oint d\ell \dfrac{\mu_0 I^2}{4R^2}$

б)

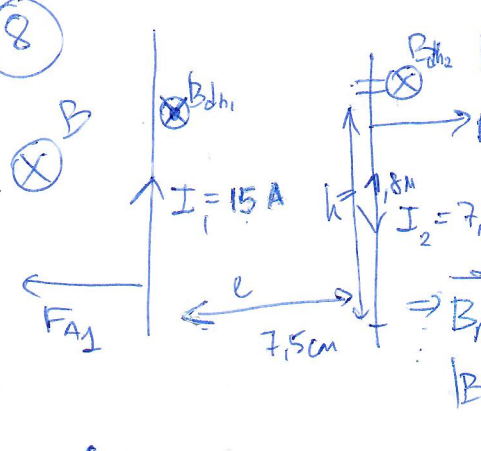Магнитное поле в (·)O создают отрезки 12 и 34 можно посчитать поле одного и удвоить.

$B = \dfrac{\mu_0 I}{4\pi\ell/2}(\cos\gamma - \cos\beta) = \dfrac{\mu_0 I}{4\pi\ell/2}\left(\cos\dfrac{\pi}{2} - \cos\pi\right) =$

$= \dfrac{\mu_0 I}{4\pi\ell/2}(0-1) = \dfrac{\mu_0 I}{4\pi\ell/2}$ $\Rightarrow 2B = \dfrac{\mu_0 I}{\pi\ell}$

$\Rightarrow \vec{F_A} = I\,d\vec{\ell}\times\vec{B}$ $\Rightarrow |F_A| = \dfrac{d\ell\,\mu_0 I^2}{\pi\ell}$

⑧

B_{dh_1}, B_{dh_2}

$I_1 = 15\,A$ $h = 1.8\,м$ $I_2 = 7.5\,A$

$\ell = 7.5\,см$

Просуммируем силы, которые действуют на маленькие кусочки провода:

$$B_{dh_2} = \int\limits_{-\infty}^{+\infty} \frac{I_1\mu_0}{4\pi a}\frac{\sin\alpha\, d\alpha}{n} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi R}$$ — из предыдущей серии

$$\Rightarrow \vec{B}_{полн} = \vec{B} + \vec{B}_{dh_2} \Rightarrow |B_{полн}| = B + B_{dh_2}$$

$$\begin{cases}\vec{F}_{A_2} = I_2\vec{dl} \times \vec{B}_{полн} \\[4pt] |\vec{F}_{A_2}| = I_2 h\,(B + B_{dh_2}) = \\[4pt] = I_2 h\left(B + \frac{\mu_0 I_1}{2\pi\ell}\right) = 3.8\,мН\end{cases}$$

Аналогично для второго провода

$\bullet\ B_{dh_1} = \dfrac{\mu_0 I_2}{2\pi\ell} \Rightarrow \vec{B}_{полн} = \vec{B} + \vec{B}_{dh_1} \Rightarrow |B_{полн}| = B + B_{dh_1}$

$$\vec{F}_{A_2} = I_1\vec{dl} \times \vec{B}_{полн} \Rightarrow |F_{A_2}| = I_1 h\,(B + B_{dh_1}) = I_1 h\left(B + \frac{\mu_0 I_2}{2\pi\ell}\right) = 7\,мН$$

⑨

$B \otimes$

$q = 1.5\,кВ$
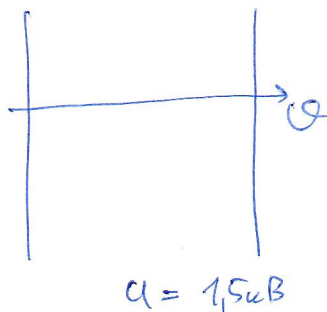
$$\frac{m v^2}{2} = Uq \qquad v = \sqrt{\frac{2Uq}{m}} \qquad R = \frac{mv}{qB}$$

$$\Rightarrow B = \frac{mv}{qR} = \frac{m\sqrt{\frac{2Uq}{m}}}{qR} =$$

$$= \sqrt{\frac{2Um}{q}}\,R = 8000\,А/м$$