Вариант 5

3б) Прямоугольная рамка размером $a \times b$ с током I_1 , находится в одной плоскости с длинным проводом, несущим ток I_2 . Сторона рамки a параллельна проводу и находится на расстоянии r от него. Найти результирующую силу $\bar{F}$ действующую на рамку. Получить приближенную формулу для случая $r \gg a$.

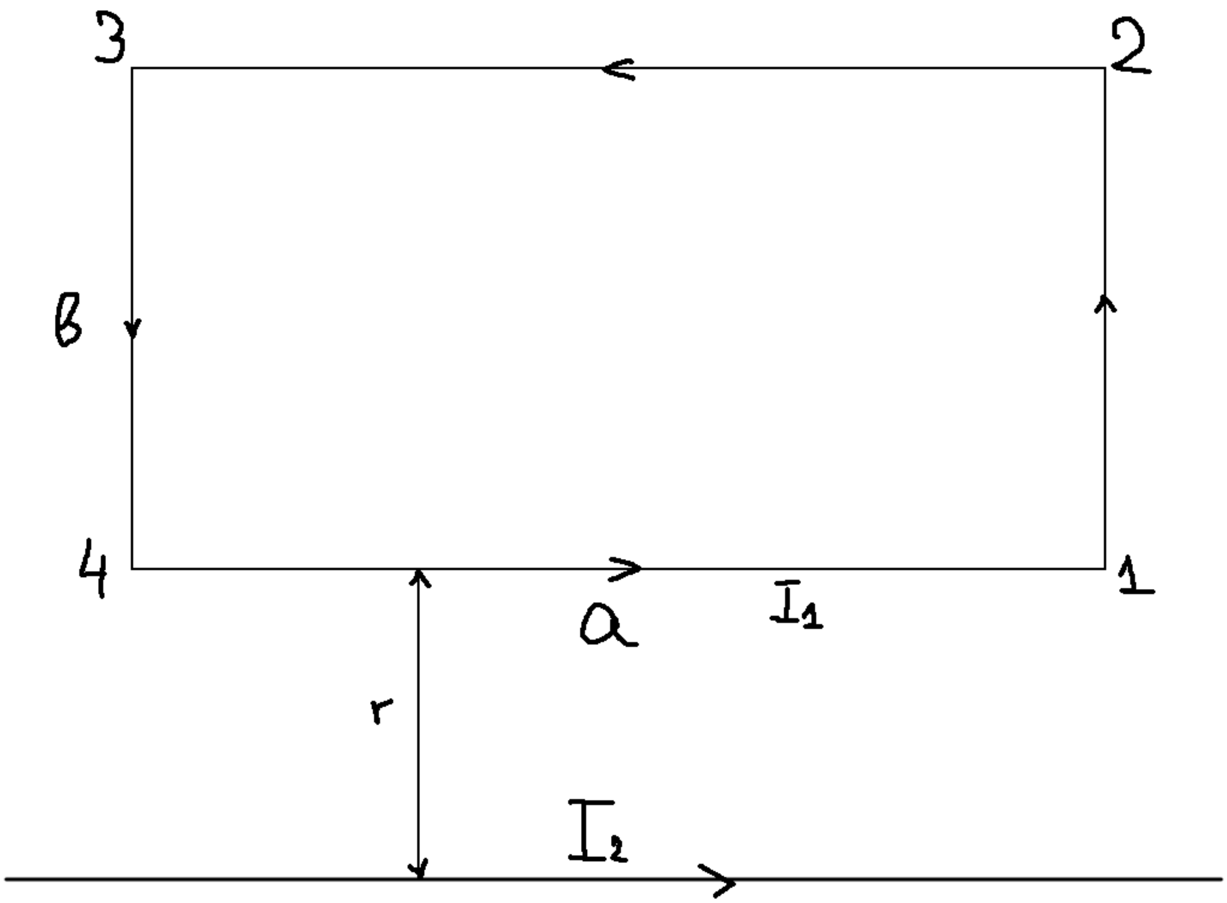
Дано:

a, b, I_1, I_2, r

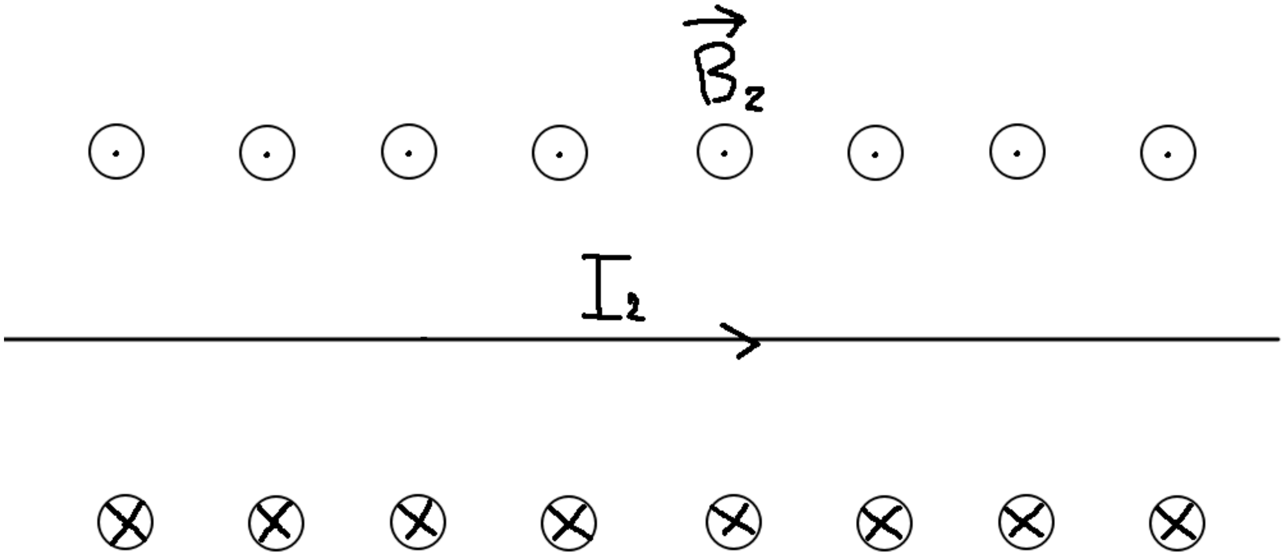
Найти:

$\vec{F}_{\text{на рамку}}$ в общем виде и при $r \gg a$

Решение:



Магнитная индукция, порождаемая проводом:



$$\oint_L \vec{B}d\vec{l} = \frac{4\pi}{c} I_2 = 2\pi h B \Rightarrow B = \frac{2}{c}\frac{I_2}{h} - \text{теорема о циркуляции магнитного поля}$$

$$d\vec{F}_A = Id\vec{l} \times \vec{B} - \text{сила Ампера}$$

$$\vec{F} = \oint_{1234} Id\vec{l} \times \vec{B} = \int_{T_1}^{T_2} I_1 B(l) dl \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} + \int_{T_2}^{T_3} I_1 B(r+b) dl \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} + \int_{T_3}^{T_4} I_1 B(l) dl \begin{pmatrix}-1\\0\end{pmatrix} + \int_{T_4}^{T_1} I_1 B(r) dl \begin{pmatrix}0\\-1\end{pmatrix} =$$

$$= \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4$$

$$F_1 = F_3 \Rightarrow$$

$$\vec{F} = \vec{F}_2 + \vec{F}_4$$

$$F_2 = I_1 \frac{2}{c}\frac{I_2}{b+r}\int_0^a dl = \frac{2}{c}\frac{a}{b+r} I_1 I_2$$

$$F_4 = I_1 \frac{2}{c}\frac{I_2}{r}\int_0^a dl = \frac{2}{c}\frac{a}{r} I_1 I_2$$

$$F_y = \frac{2}{c} I_1 I_2 a \left(\frac{1}{r+b} - \frac{1}{r}\right) = -\frac{2}{c}\frac{ab}{r(r+b)} I_1 I_2$$

Ответ: $F = \frac{2}{c}\frac{ab}{r(r+b)} I_1 I_2$

4б) Два точечных диполя находятся на расстоянии l и колеблются в одном направлении с одинаковыми частотой ω и амплитудой E_0 и фазой. Найти среднее значение модуля вектора Пойнтинга $\langle|\vec{\Pi}|\rangle$ в точке, находящейся на расстоянии l от каждого диполя, и лежащей в плоскости перпендикулярной направлению колебаний. Формулы для электромагнитного поля осциллирующего диполя (в волновой зоне):

$$B(r,t) = \frac{\mu_0}{4\pi c r}\sin(\theta) p''\left(t - \frac{r}{c}\right); \;\; E = B \cdot c$$

Дано:

$l, \omega_1 = \omega_2 = \omega, E_1 = E_2 = E_0, \varphi_1 = \varphi_2$, диполи колеблются в одном направлении

Найти:

$\langle|\vec{\Pi}|\rangle$

Решение: