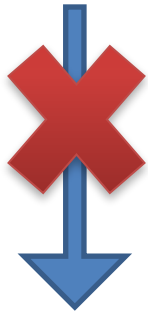


ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕМЫ МАГНИТОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

1. Теорема Гаусса



Поле
потенциально?



Существуют
источники (стоки)
линий индукции
(магнитные
заряды)?



2. Теорема о циркуляции

1. ТЕОРЕМА ГАУССА

Отсутствие в природе магнитных зарядов приводит к тому, что линии **магнитной индукции замкнуты**.

Поэтому поток вектора магнитной индукции через любую замкнутую поверхность равен нулю (т. Гаусса).

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

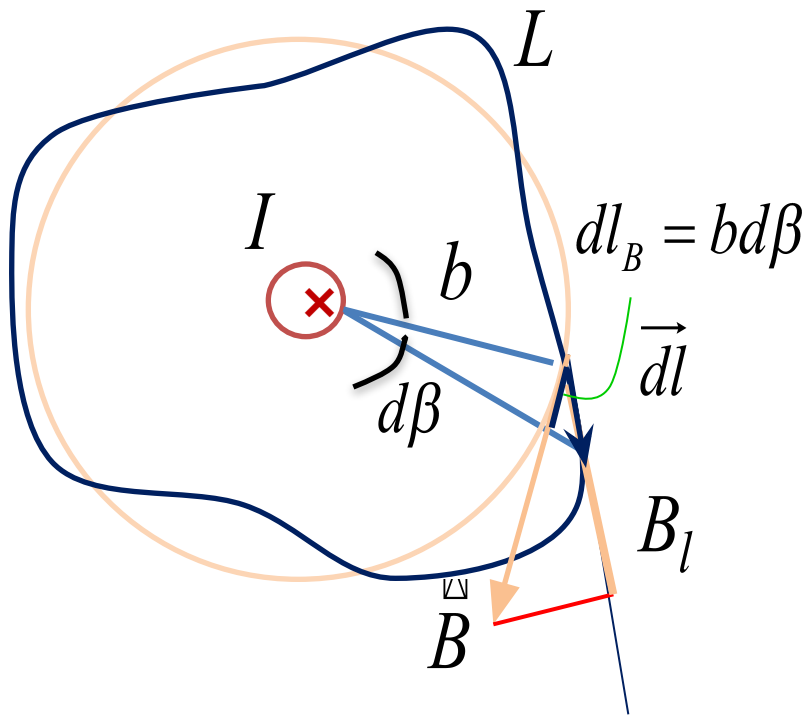
иФ

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = \int_V (\nabla \cdot \vec{B}) dV \Rightarrow$$

$$(\nabla \cdot \vec{B}) = 0$$

ДФ

2. ЦИРКУЛЯЦИЯ ДЛЯ ПОЛЯ ПРЯМОГО ТОКА



$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = B_l dl = B dl_B$$

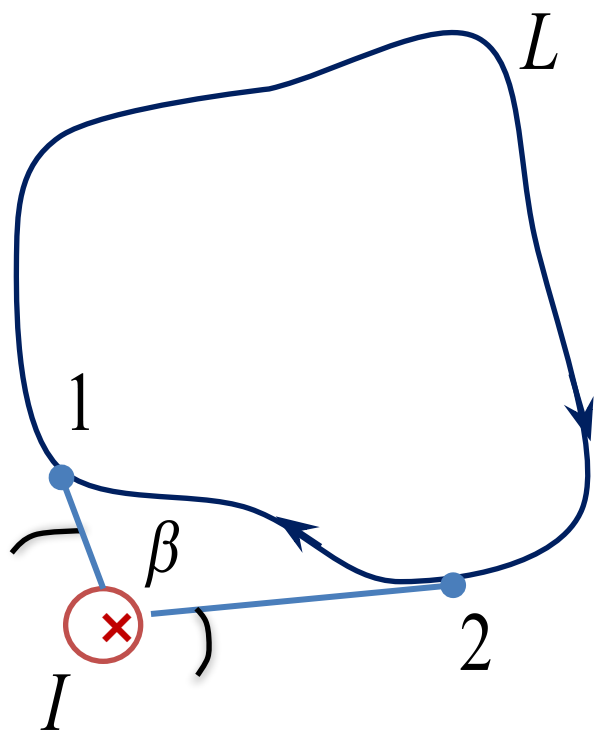
$$B dl_B = \frac{\mu_0 I}{2\pi b} b d\beta$$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \oint_L d\beta$$

$$\oint_L d\beta = 2\pi \Rightarrow$$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I$$

2. ЦИРКУЛЯЦИЯ ДЛЯ ПОЛЯ ПРЯМОГО ТОКА (ток вне контура)



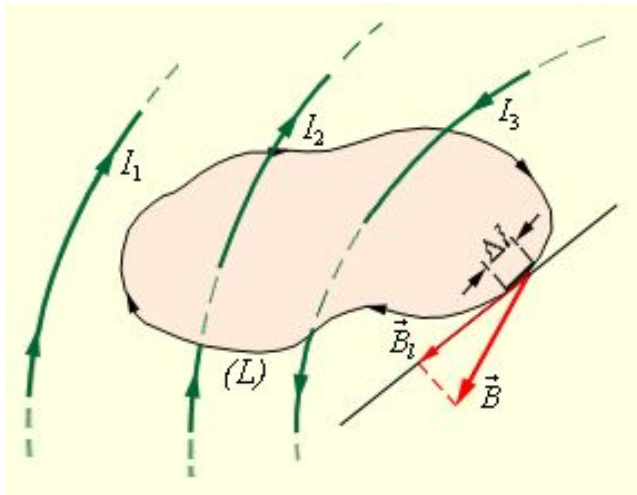
$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \oint_L d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\int_1^2 d\alpha + \int_2^1 d\alpha \right) =$$

$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi} (\beta - \beta) = 0$$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = 0$$

Таким образом, если ток **не** охватывается контуром, циркуляция вектора $\vec{B}$ вдоль этого контура равна нулю!

3. ТЕОРЕМА О ЦИРКУЛЯЦИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ



Пример

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^N I_i$$

Циркуляция вектора магнитной индукции вдоль любого замкнутого контура **равна алгебраической сумме токов, охватываемых** этим контуром.

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 (I_3 - I_2)$$

Пояснение: I_3 берется со знаком «+», так как составляет с обходом контура правовинтовую систему, соответственно I_2 - «-»

4. РОТОР ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^N I_i$$

$$\sum_{i=1}^N I_i = \int_S \vec{j} d\vec{S} \Rightarrow$$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{j} d\vec{S}$$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \int_S [\nabla \vec{B}] d\vec{S}$$

$$\int_S [\nabla \vec{B}] d\vec{S} = \mu_0 \int_S \vec{j} d\vec{S} \Rightarrow$$

$$[\nabla \vec{B}] = \mu_0 \vec{j}.$$

$$[\nabla \vec{B}] = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}.$$

5. СРАВНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0};$$

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

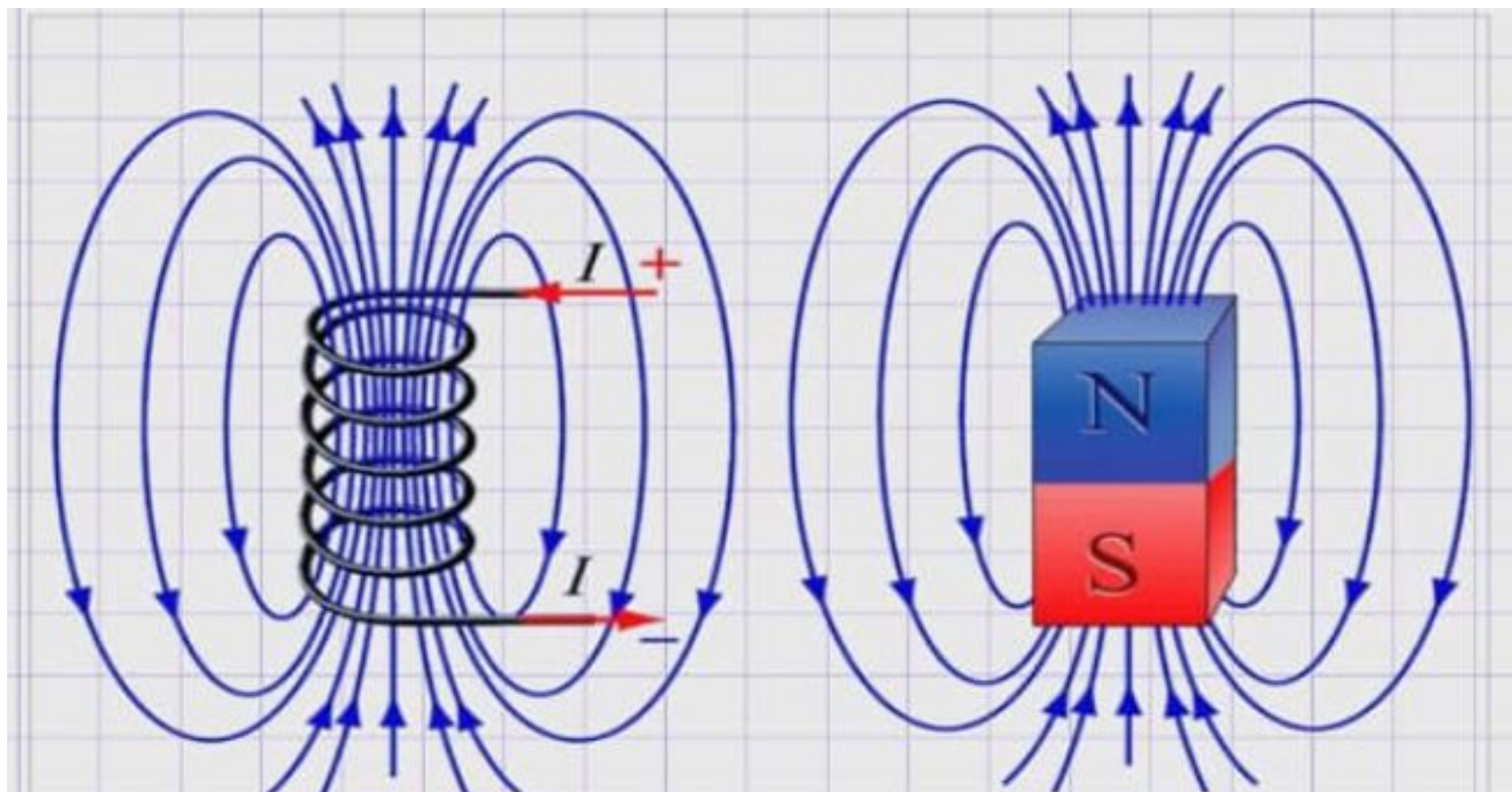
$$\nabla \cdot \vec{B} = 0;$$

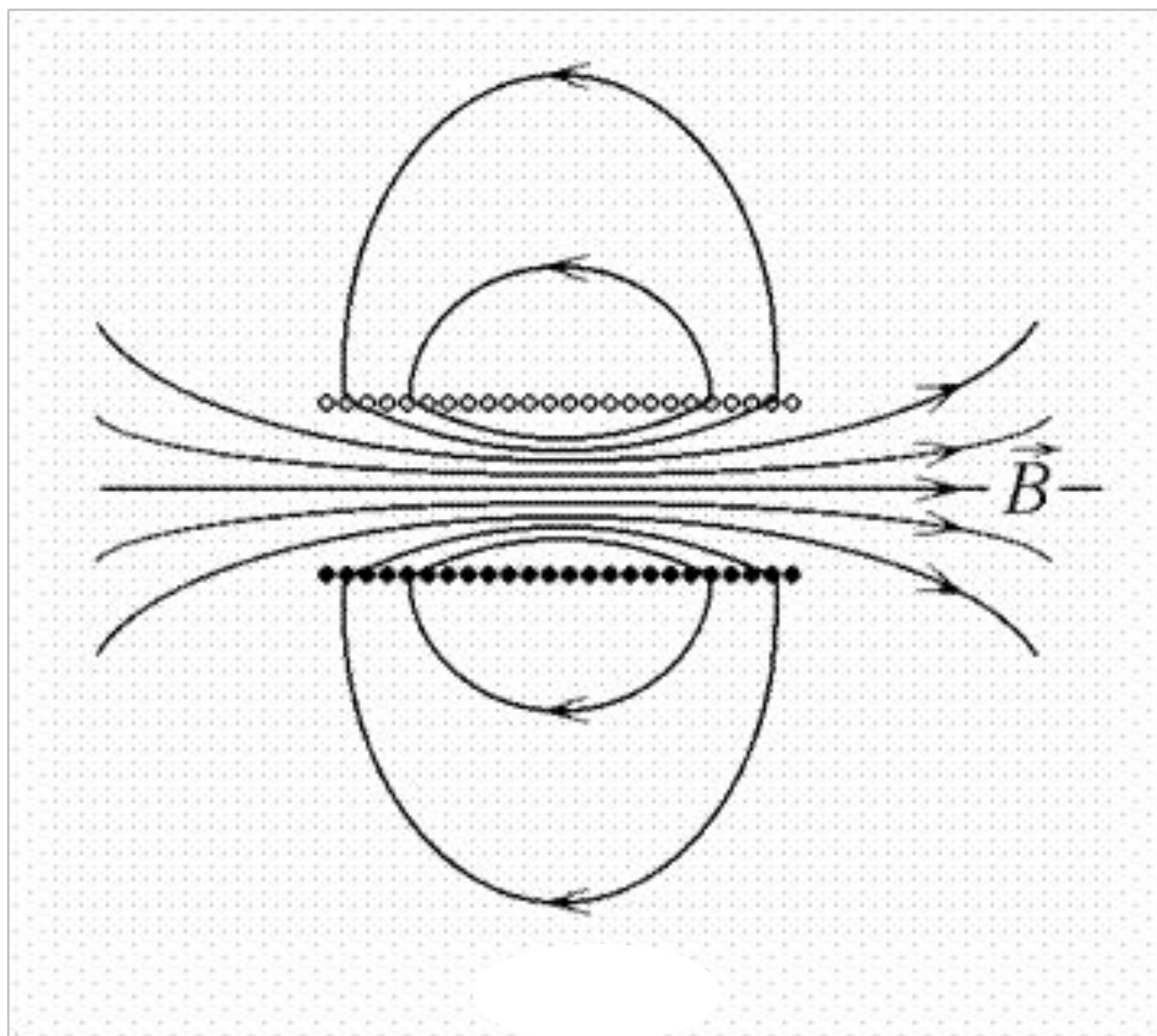
$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0$$

$$[\nabla \times \vec{E}] = 0$$

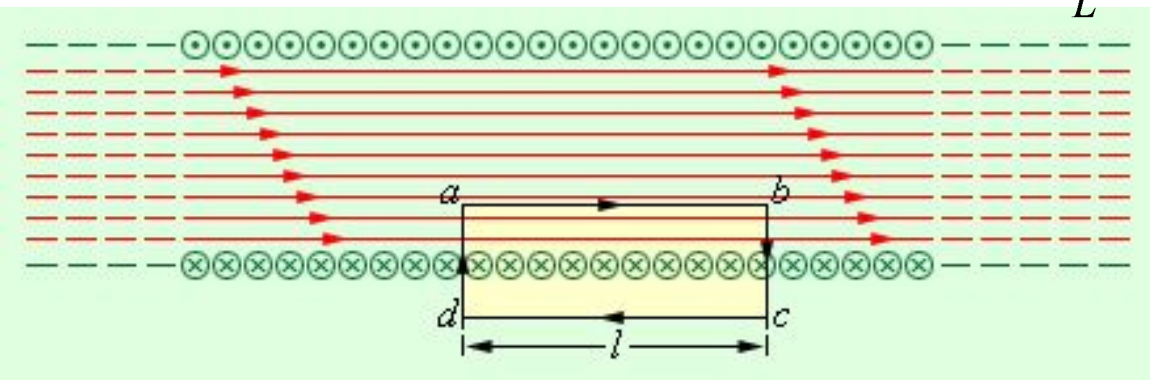
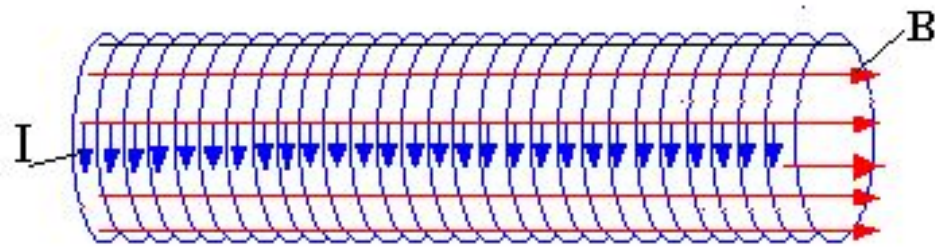
$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^N I_i$$

$$[\nabla \times \vec{B}] = \mu_0 \vec{j}.$$





6. ПОЛЕ ДЛИННОГО СОЛЕНОИДА



$$\sum_{i=1}^N I_i = NI \Rightarrow Bl = \mu_0 NI \Rightarrow$$

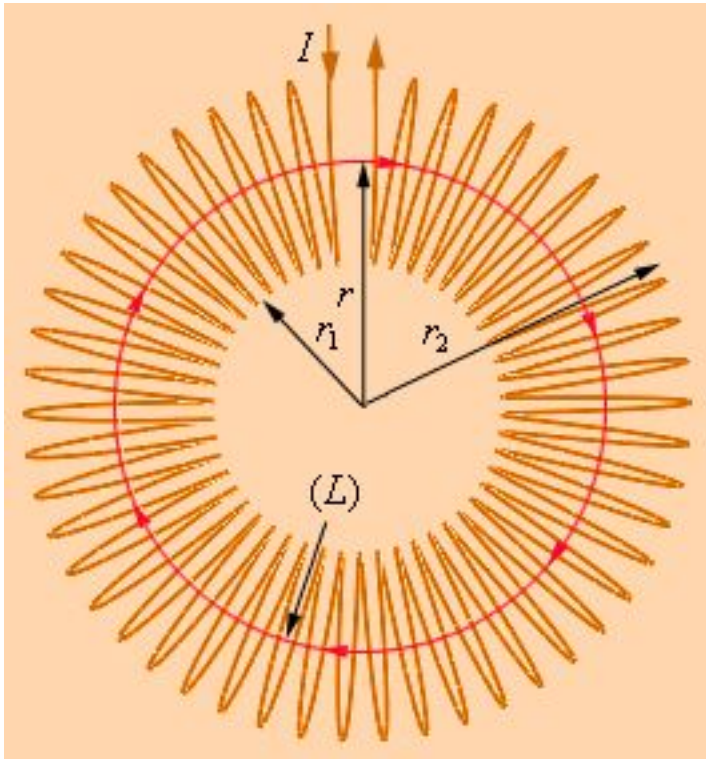
$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} = \mu_0 nI$$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^N I_i$$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \int_a^b B_l dl + \int_b^c B_l dl +$$

$$+ \int_c^d B_l dl + \int_d^a B_l dl = \int_a^b B_l dl = Bl$$

7. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТОРОИДА



$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=1}^N I_i \quad \vec{B} d\vec{l} = B dl;$$

$$r = const \Rightarrow B(r) = const \Rightarrow$$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \oint_L B dl = B \oint_L dl = B 2\pi r \Rightarrow$$

$$B 2\pi r = \mu_0 I N \Rightarrow$$

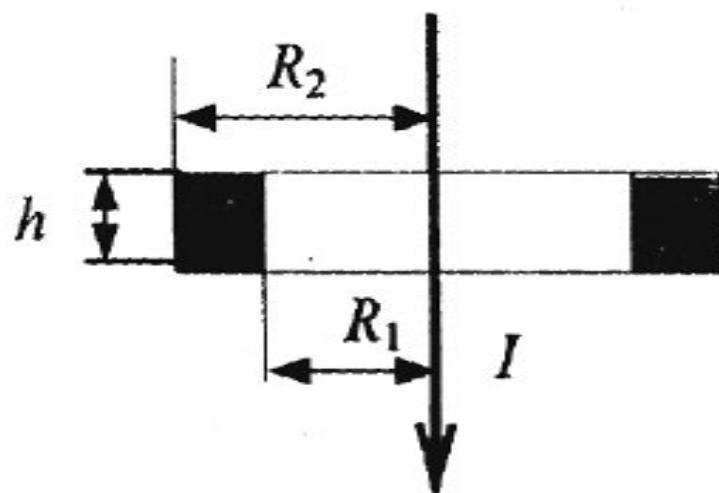
$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{NI}{r};$$

$$B_{\max} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{NI}{r_1}; \quad B_{\min} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{NI}{r_2}.$$

Из проволоки диаметром d нужно намотать соленоид, индукция магнитного поля внутри которого должна быть равна B . Предельная сила тока, который можно пропускать по проволоке, равна I . Чтобы обеспечить необходимую индукцию поля, приходится наматывать N слоев обмотки, причем витки должны прилегать плотно друг к другу. Найти искомую величину согласно номеру задания, считая диаметр катушки малым по сравнению с ее длиной.

№ вариант а	I, A	$d, мм$	$B, Тл$	N
1.	4	?	$6,2 \cdot 10^{-3}$	3
2.	10	0,4	?	2
3.	?	0,5	$1,2 \cdot 10^{-2}$	4
4.	5	1,5	$1,6 \cdot 10^{-2}$	?

9. (В.11.49) Через центр железного кольца перпендикулярно к его плоскости проходит длинный прямолинейный провод, по которому течет ток $I=25$ А. Кольцо имеет четырехугольное сечение (рис. 7.6), размеры которого $R_1=18$ мм, $R_2=22$ мм и $h=5$ мм. Считая приближенно, что в любой точке сечения кольца индукция одинакова и равна индукции на средней линии кольца, найти магнитный поток Φ , пронизывающий площадь сечения кольца.



Ответ: $\Phi=12$ мкВб.