

*Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции:*

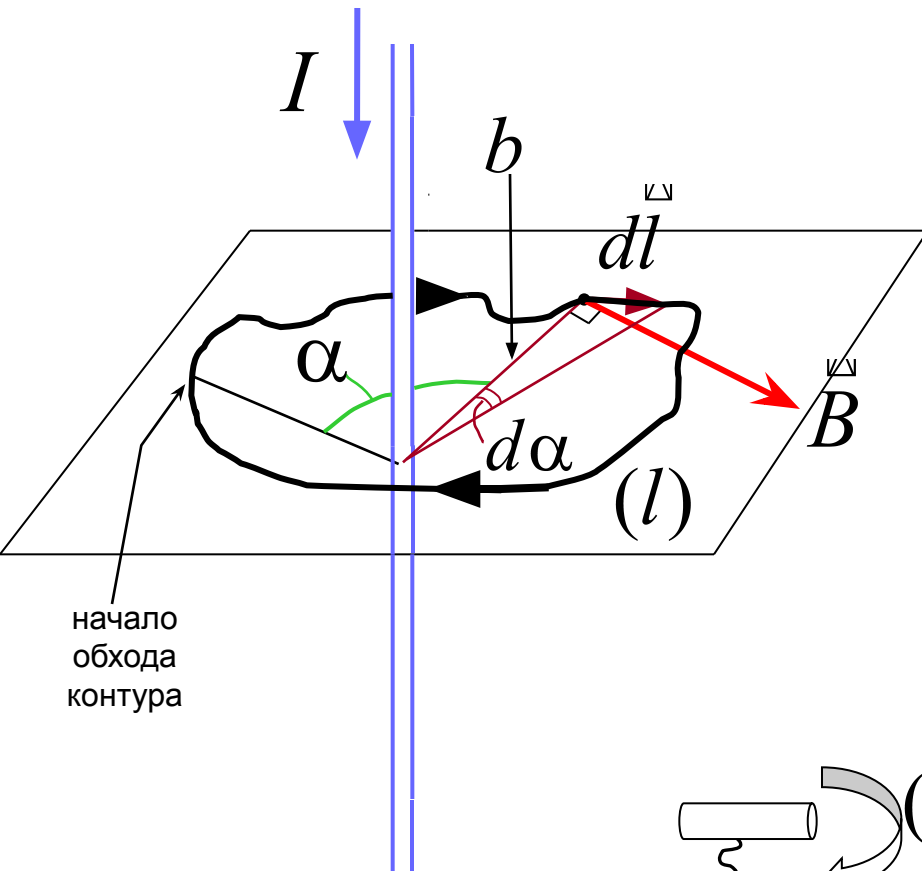
**Циркуляция вектора магнитной индукции по произвольному замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром, умноженной на магнитную постоянную**

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad /$

# Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции:

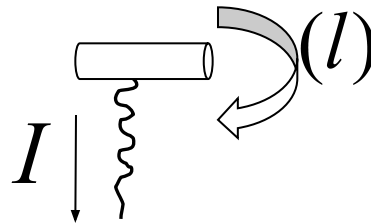
$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i$$



Докажем для частного случая :

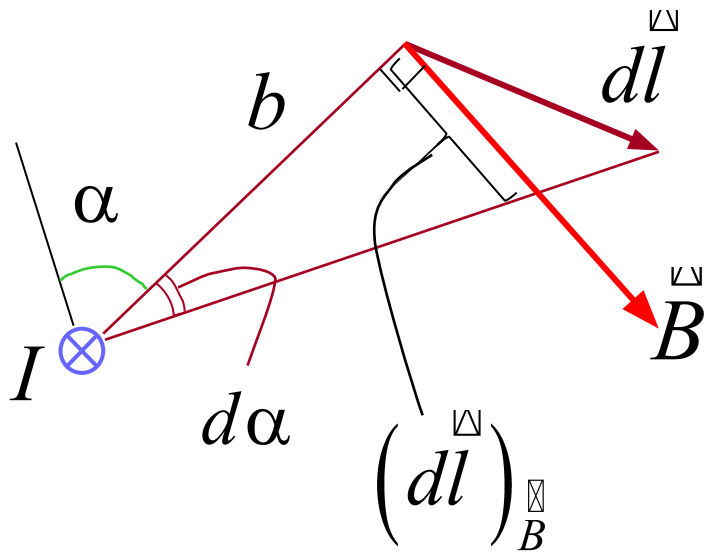
- бесконечный прямой ток
- плоский контур
- плоскость контура  $\perp$  току

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



$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} > 0$$

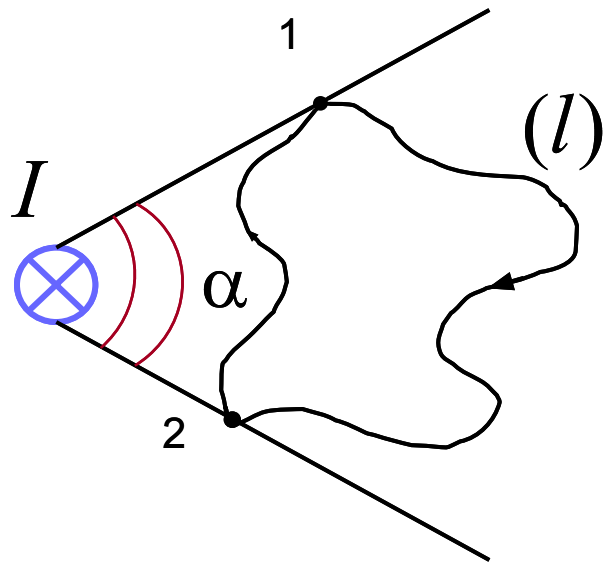
$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \oint_l B (d\vec{l})_{\parallel B}$$



$$\left| \left( dl \right)_B \right| = b \cdot d\alpha$$

$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I}{2\pi b} \times b d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \times \int_0^{2\pi} d\alpha = \mu_0 I$$

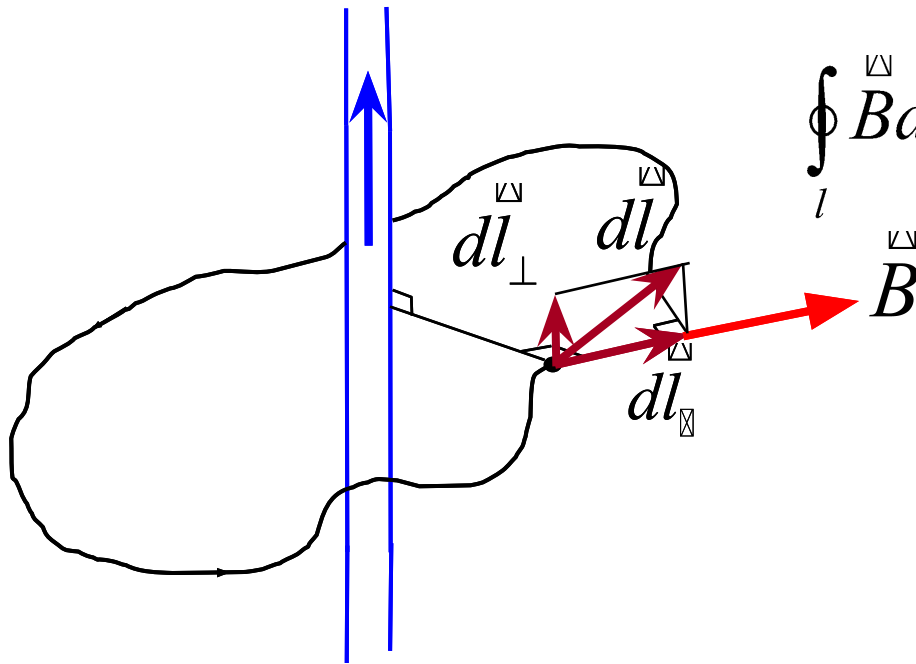
$$\oint_l \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$



*Если контур не охватывает ток....*

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\alpha = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_1^2 d\alpha + \frac{\mu_0 I}{2\pi} \times \int_2^1 d\alpha = 0$$

*Если контур произвольной формы....*



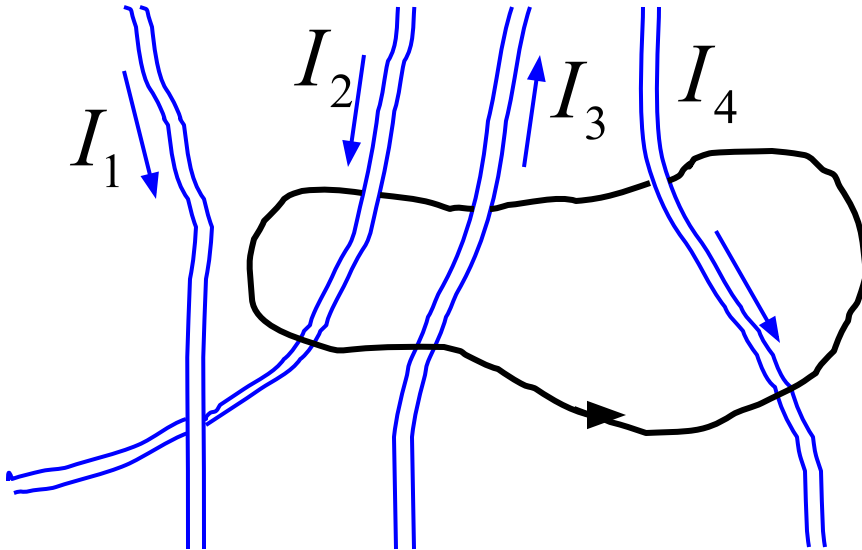
$$d\vec{l} = d\vec{l}_{\perp} + d\vec{l}_{\parallel}$$

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \oint_l \vec{B} d\vec{l}_{\perp} + \oint_l \vec{B} d\vec{l}_{\parallel} = 0 + \oint_l \vec{B} d\vec{l}_{\parallel}$$

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

В общем случае для системы токов произвольной формы и произвольного замкнутого контура:

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_i I_i$$



$$I_1 = 1A$$

$$I_2 = 2A$$

$$I_3 = 3A$$

$$I_4 = 4A$$

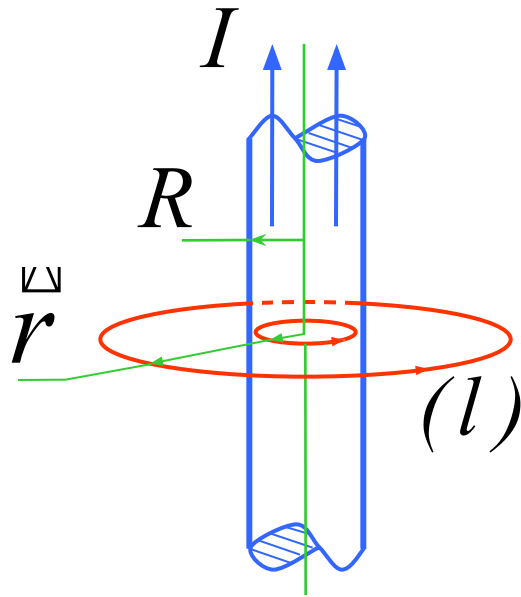
$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) = \mu_0 (0 - 2 + 3 - 4)$$

*В общем случае, для контура в среде, где существует постоянный ток....*

$$I = \int_S j_n dS$$

$$\oint_l \vec{B} dl = \mu\mu_0 \int_S j_n dS$$

## Магнитное поле внутри прямого проводника с током

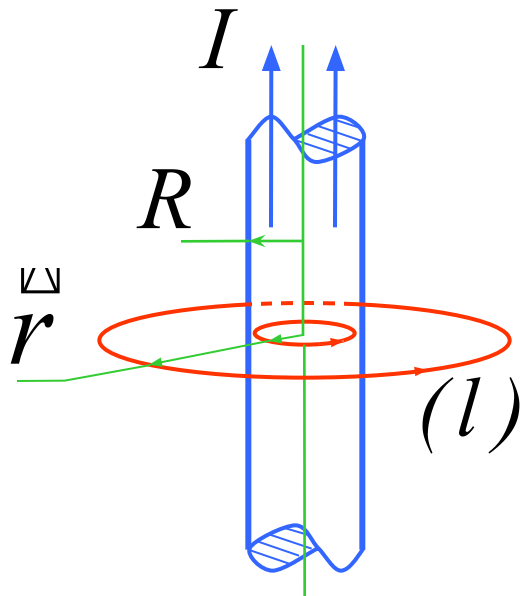


Симметрия: в равноотстоящих от оси точках поле одинаково.

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \oint_l B_l dl = \oint_l B dl = B \oint_l dl = B \times 2\pi r$$

## Магнитное поле прямого проводника с током

Симметрия: в равноотстоящих от оси точках поле одинаково.



$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \oint_l B_l dl = \oint_l B dl = B \oint_l dl = B \times 2\pi r$$

Полый проводник

$$\begin{array}{l} \textcircled{r > R} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \oint_l \vec{B} d\vec{l} = B \times 2\pi r \\ \oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I \end{array} \right\} \Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \textcircled{r < R} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} \oint_l \vec{B} d\vec{l} = B \times 2\pi r \\ \oint_l \vec{B} d\vec{l} = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow B = 0 \end{array}$$



Равномерное распределение тока по сечению сплошного проводника

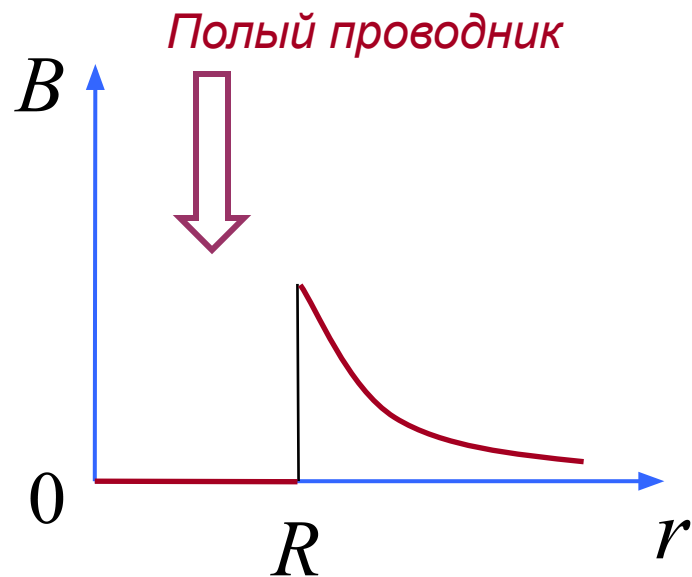
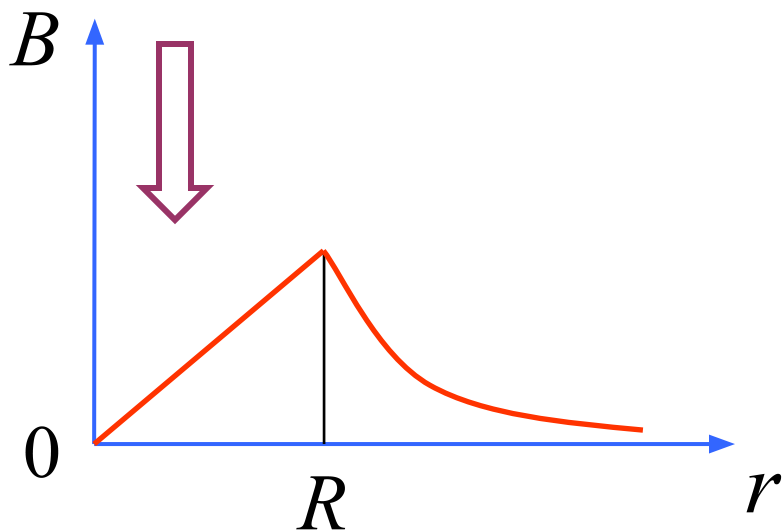
$r < R \Rightarrow$

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = B \times 2\pi r$$

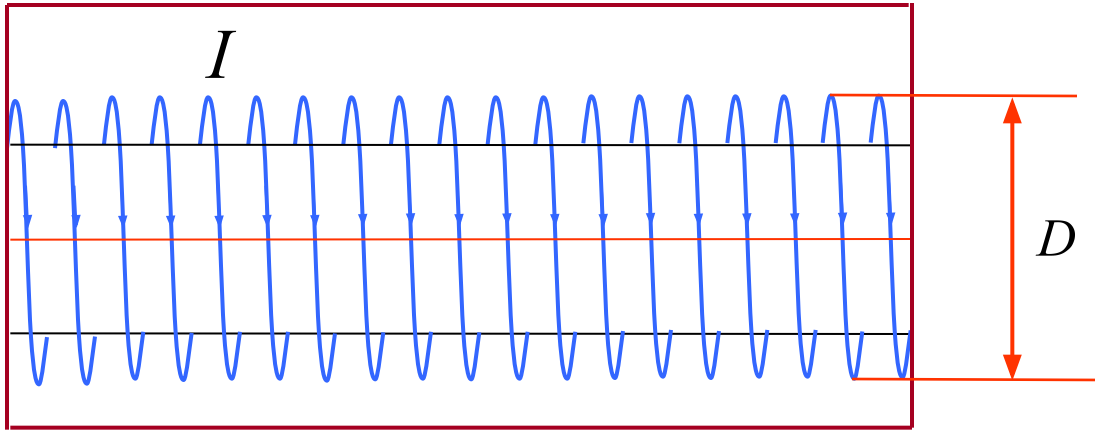
$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I'$$

$$\Rightarrow B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R^2} r$$

$$S_l = \pi r^2 \quad I' = \int_{S_l} j_n dS = j S_l = \frac{I}{\pi R^2} \pi r^2$$



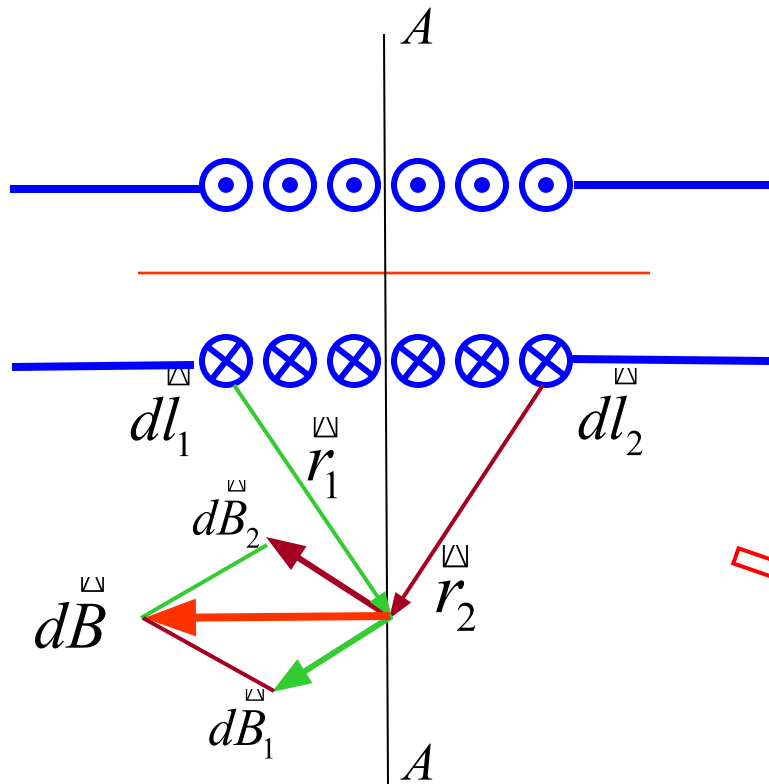
# Магнитное поле бесконечно длинного соленоида



Соленоид - .....

1)

Рассмотрим....AA...



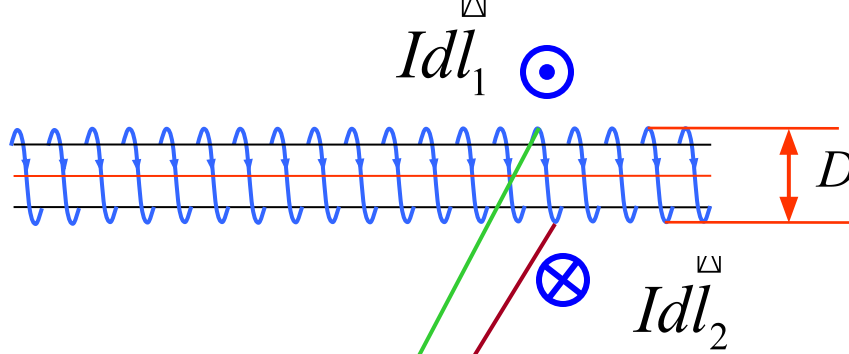
$$I dl_1 = I dl_2$$

$$d\vec{B}_1 = d\vec{B}_2$$

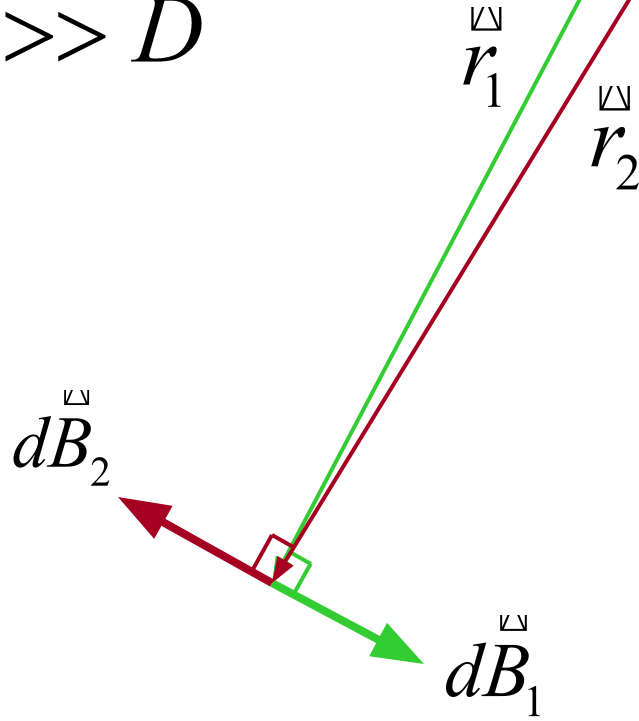
$$d\vec{B} = d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2$$

Все  $d\vec{B}$  и  $\vec{B}$   $\parallel$  оси соленоида

2)



$$r_1, r_2 \gg D$$



$$I dl_1 = I dl_2$$

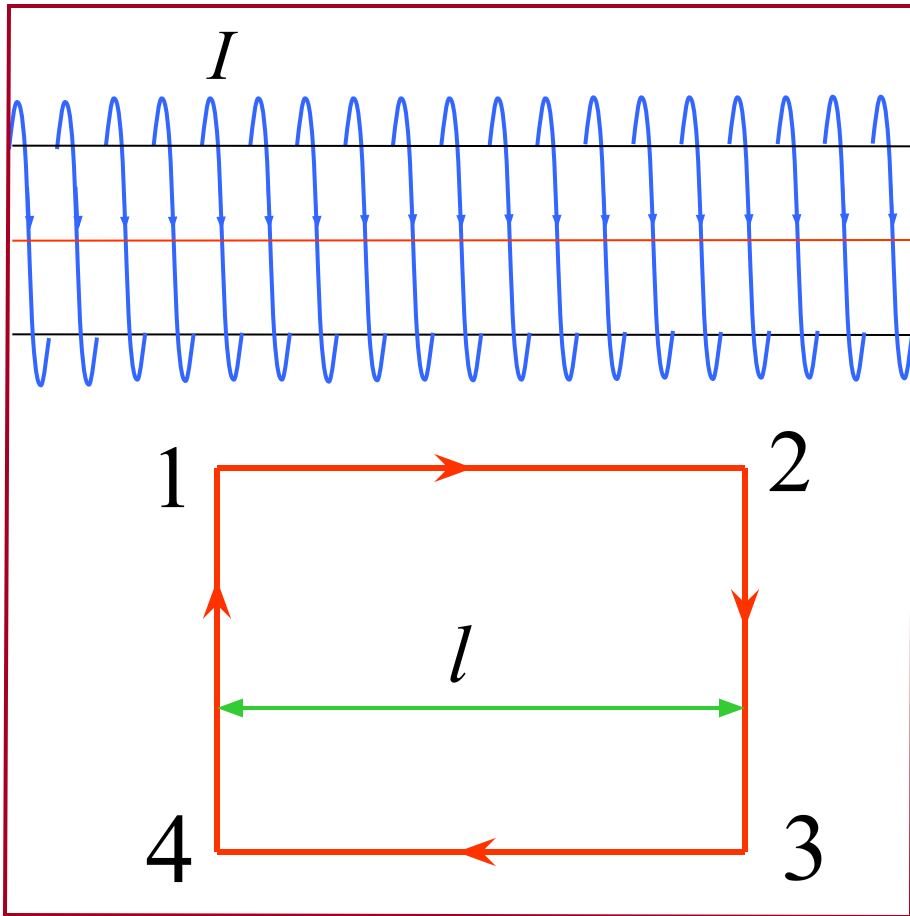
$$\downarrow \quad \downarrow$$

$$d\vec{B}_1 = d\vec{B}_2$$

$$\downarrow$$

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

$$r_1 \approx r_2 \gg D \iff \vec{B} = 0$$



(l)

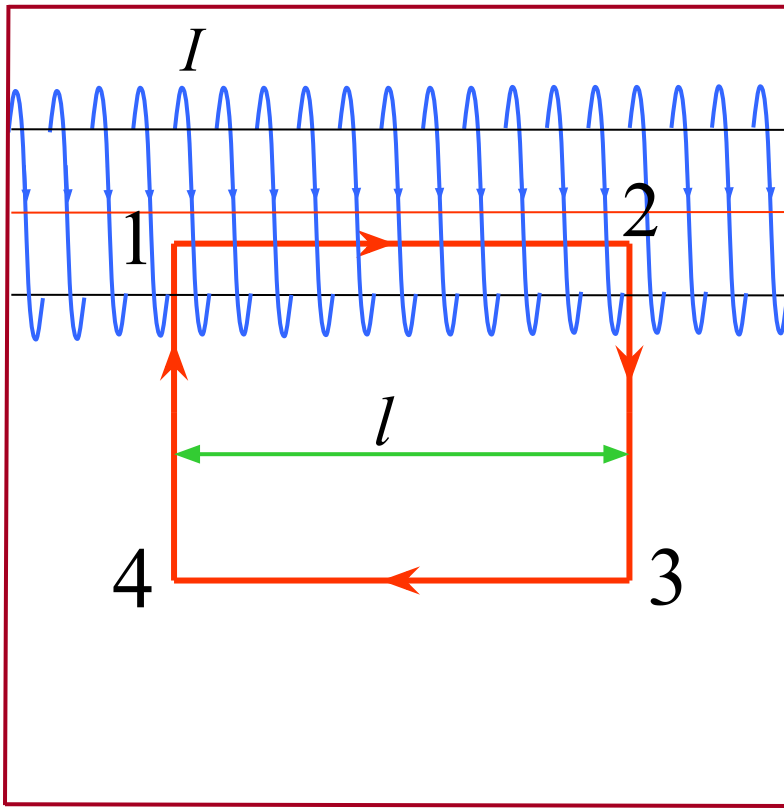
$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$$

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \oint_l B_l dl = \int_1^2 B_l dl + \int_2^3 B_l dl + \int_3^4 B_l dl + \int_4^1 B_l dl$$

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \int_1^2 B_l dl + 0 + 0 + 0 = -B \times l$$

по т.о циркуляци  $\oint_l \vec{B} d\vec{l} = 0$

вне соленоида  $B = 0$



(l)

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$$

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \oint_l B_l dl = \int_1^2 B_l dl + \int_2^3 B_l dl + \int_3^4 B_l dl + \int_4^1 B_l dl$$

$$\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \int_1^2 B_l dl + 0 + 0 + 0 = -B \times l$$

по т.о циркуляции  $\oint_l \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \times N \times I = \mu_0 \times n \times l \times I$

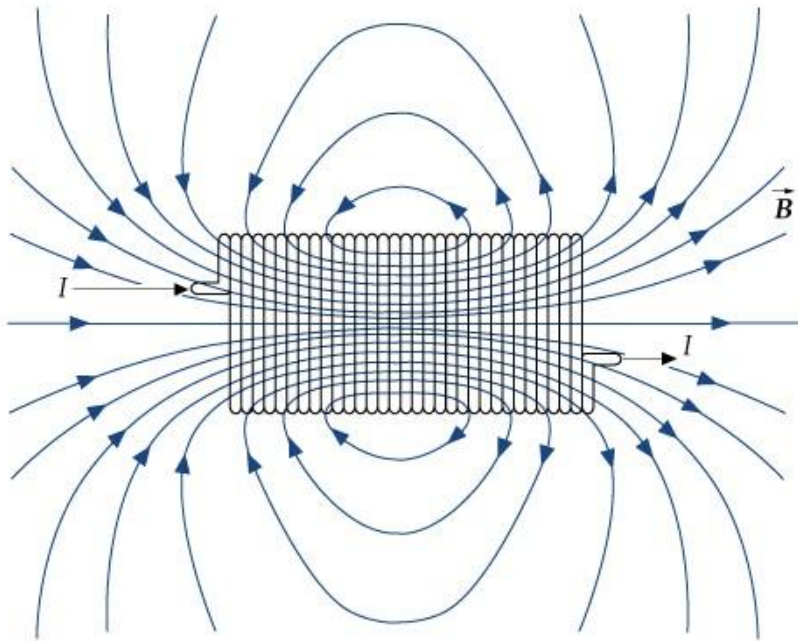


$N - \dots n - \dots$  в соленоиде  $B = \mu_0 \cdot n \cdot I$

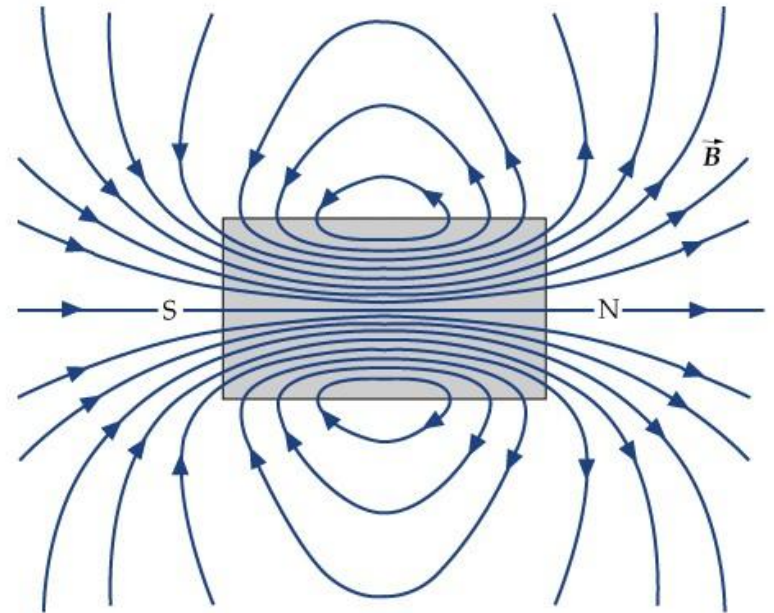
магнитное поле **внутри** бесконечно длинного соленоида однородно

магнитное поле **вне** бесконечно длинного соленоида отсутствует

**Реальное поле соленоида :**



(a)



(a)