Сегодня: среда, 1 ноября 2023 г.

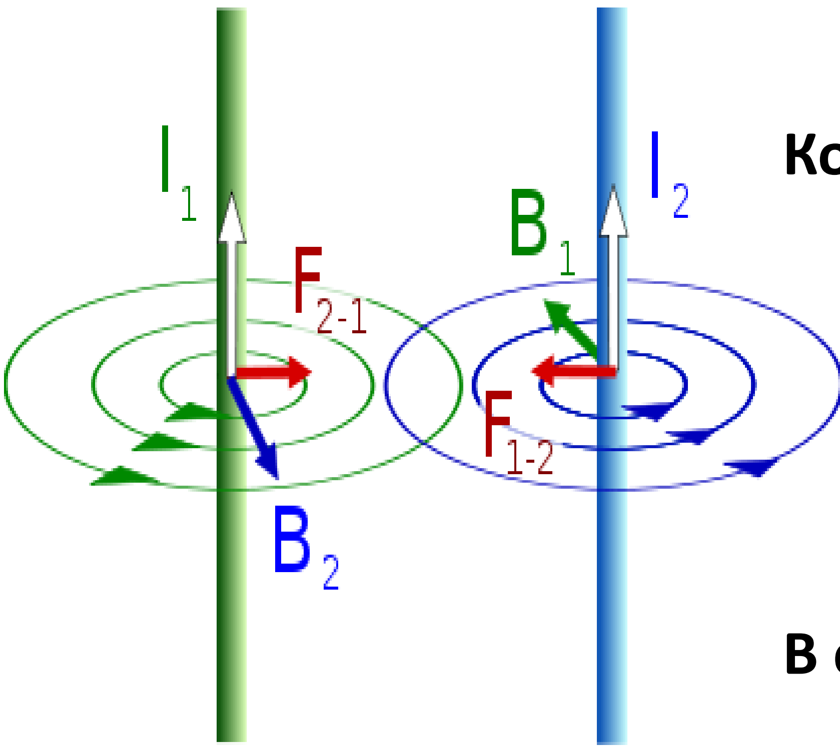
Лекция 14. Магнитное взаимодействие токов и зарядов

- Магнитное взаимодействие токов
- Некоторые применения магнитного поля

Взаимодействие прямых параллельных проводников с током

S - поперечное сечение проводника

Idl - элемент тока



Количество электронов проводимости

$$dN = ndV = nSdl$$

Их полный заряд

$$dQ = edN = enSdl$$

В силу нейтральности проводника

$$dQ \cong dQ_{ion}$$

Суммарная сила, действующая на остов

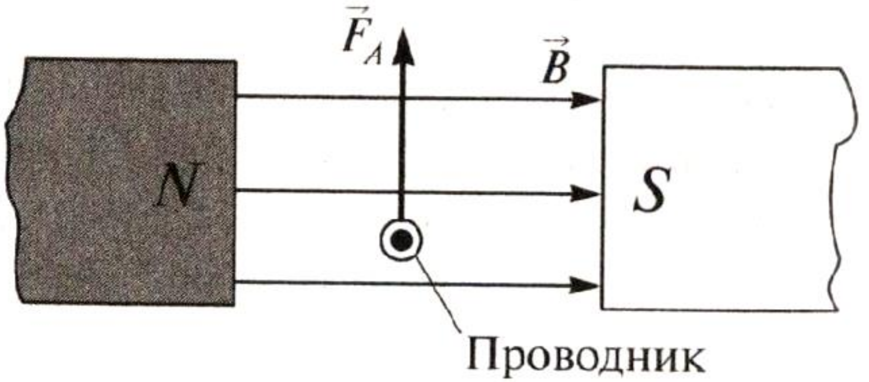
$$dF_A = E_x dQ$$

$$dF_A = E_x dQ$$

$$= \frac{B}{en} jenSdl = \left\{ j = \frac{I}{S} \right\} = IBdl$$

$$B_\perp = B\sin\alpha$$

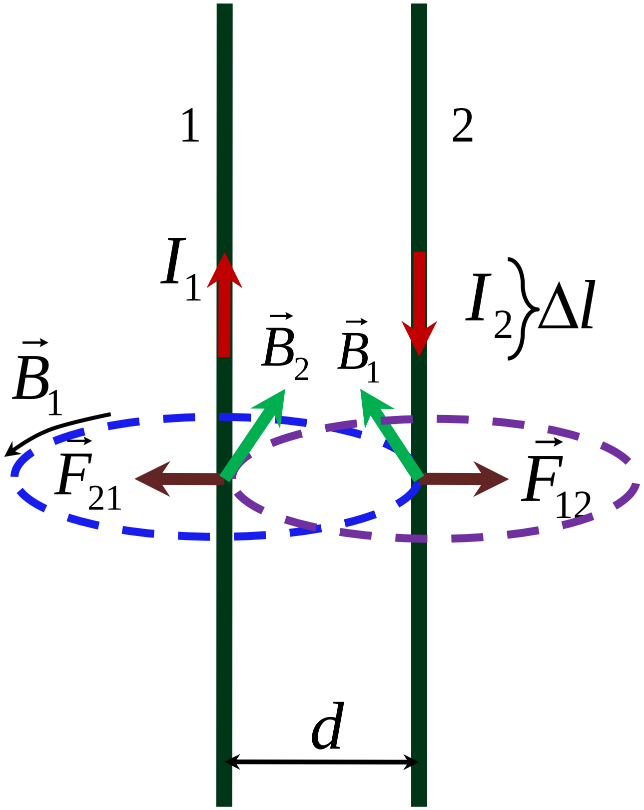
$$dF_A = IB\sin\alpha \cdot dl$$



Учитывая направление силы:

$$\boxed{d\vec{F}_A = I\left[d\vec{l}, \vec{B}\right]}$$

Сила Ампера $$\boxed{\vec{F}_A = I\left[\vec{l}, \vec{B}\right]}$$



Проводник с I_1 создает кольцевое поле в месте прохождения второго проводника:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d}$$

Элемент второго проводника Δl испытывает со стороны этого поля B_1 действие силы Ампера:

$$F_{12} = B_1 I_2 \Delta l$$

$$F_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \Delta l$$

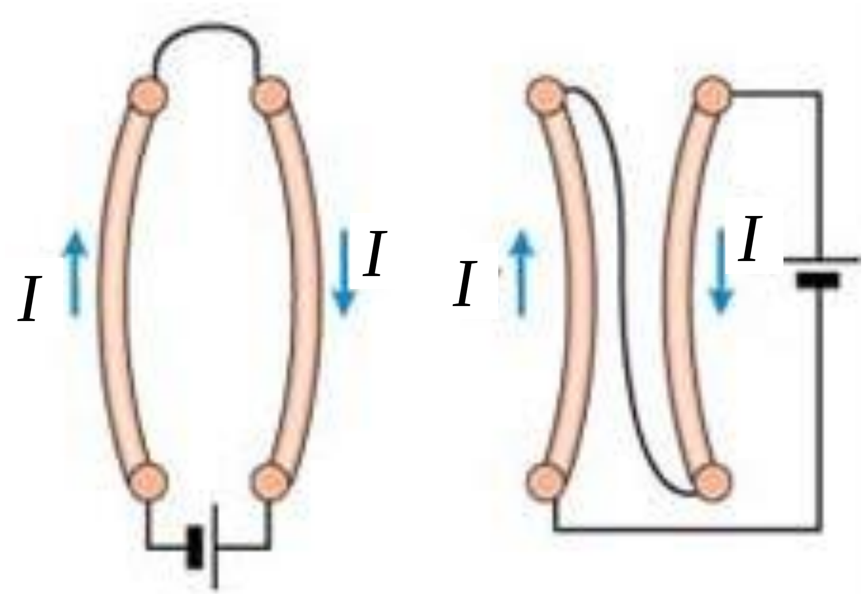
Аналогично на элемент проводника 1 действует магнитное поле B_2 с силой:

$$F_{21} = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2\pi d} \Delta l$$

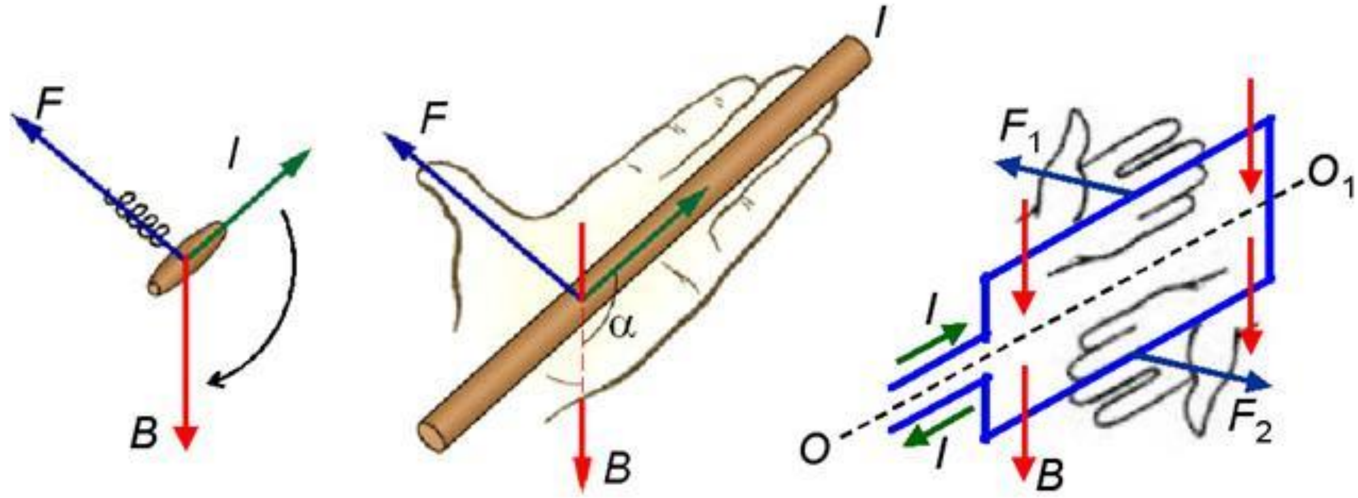
$$F = \frac{F_{12}}{\Delta l} = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2\pi d}$$

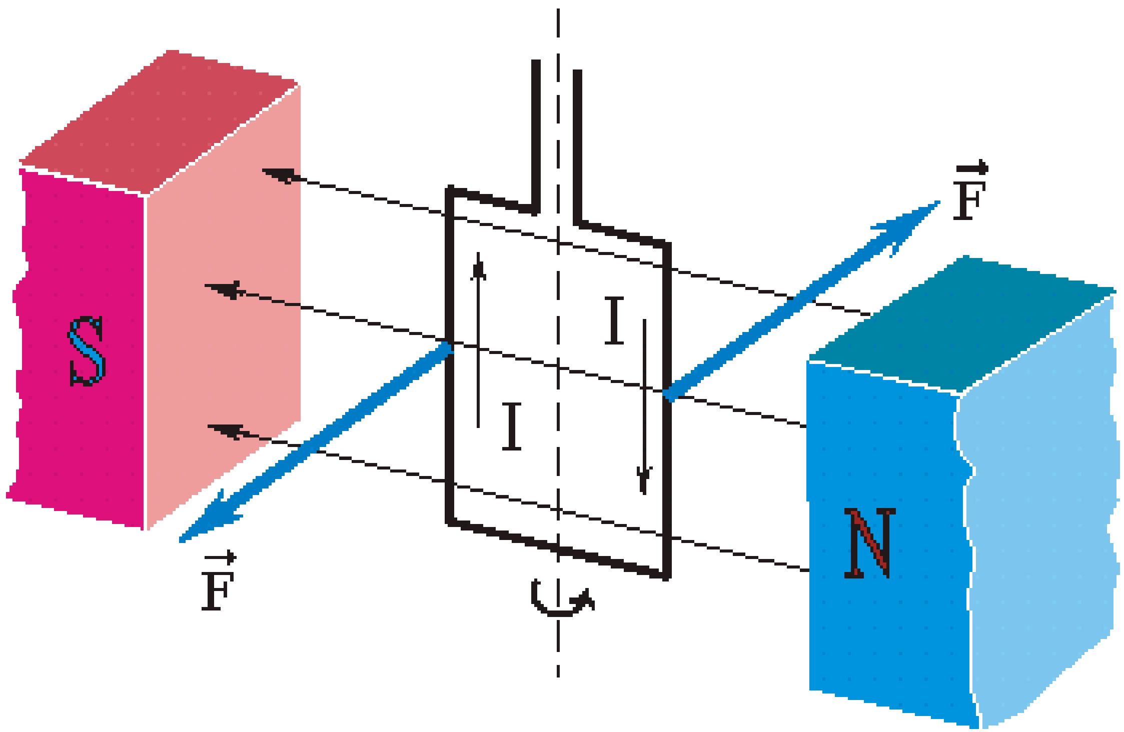
Сила взаимодействия двух прямолинейных бесконечно длинных параллельных проводников, рассчитанная на элемент длины Δl, пропорциональна произведению сил токов I_1 и I_2, протекающих в этих проводниках, и обратно пропорциональна расстоянию между ними.

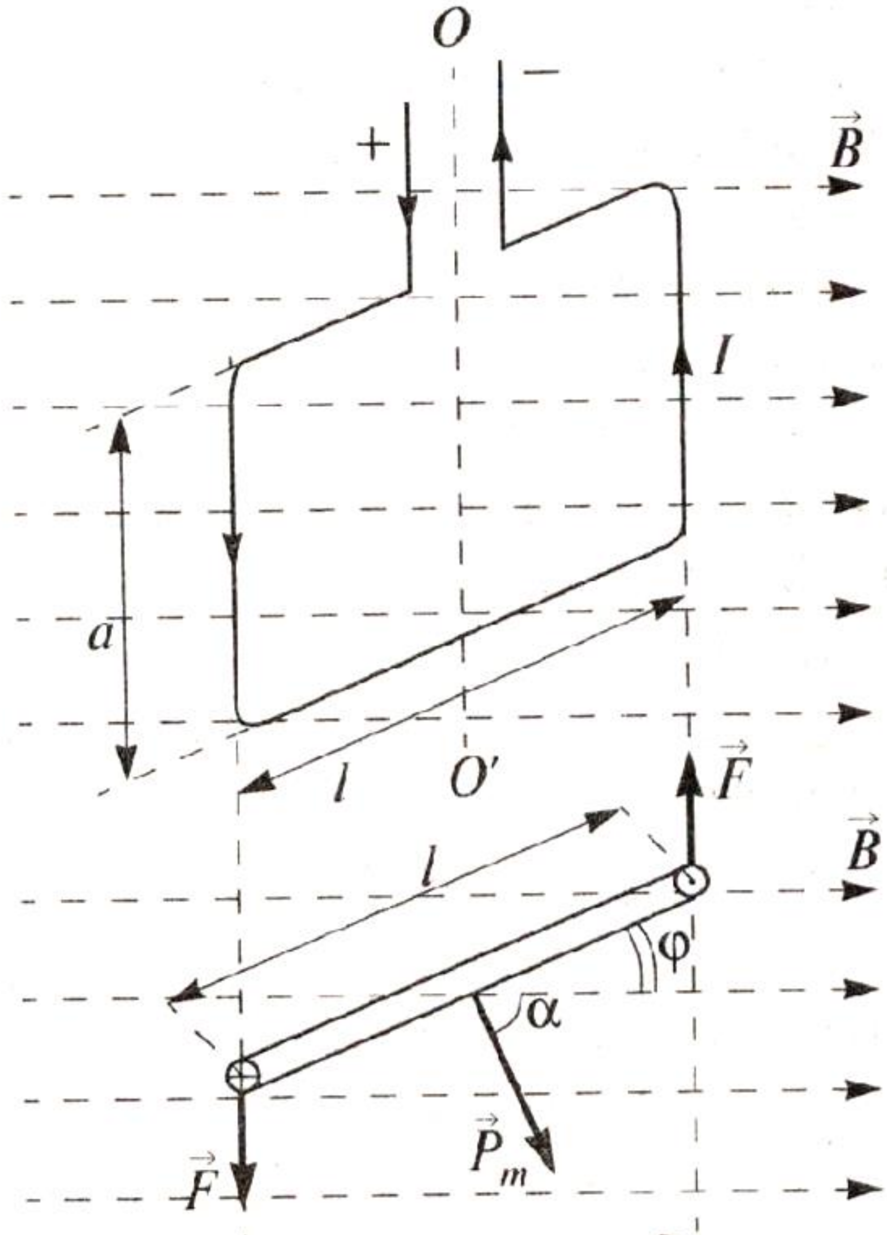
1 ампер (А) – сила постоянного тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.



Рамка с током в магнитном поле







$$F = IBa$$

$$M = F\,l\cos\varphi$$

$$h$$

$$= BIa \cdot l\cos\varphi$$

$$h = l\cos\alpha -$$

плечо пары сил

$$S = a \cdot l$$

$$\boxed{M = p_m B \sin\alpha}$$

$\vec{p}_m = I\vec{S}$ – магнитный момент

Направление магнитного момента:

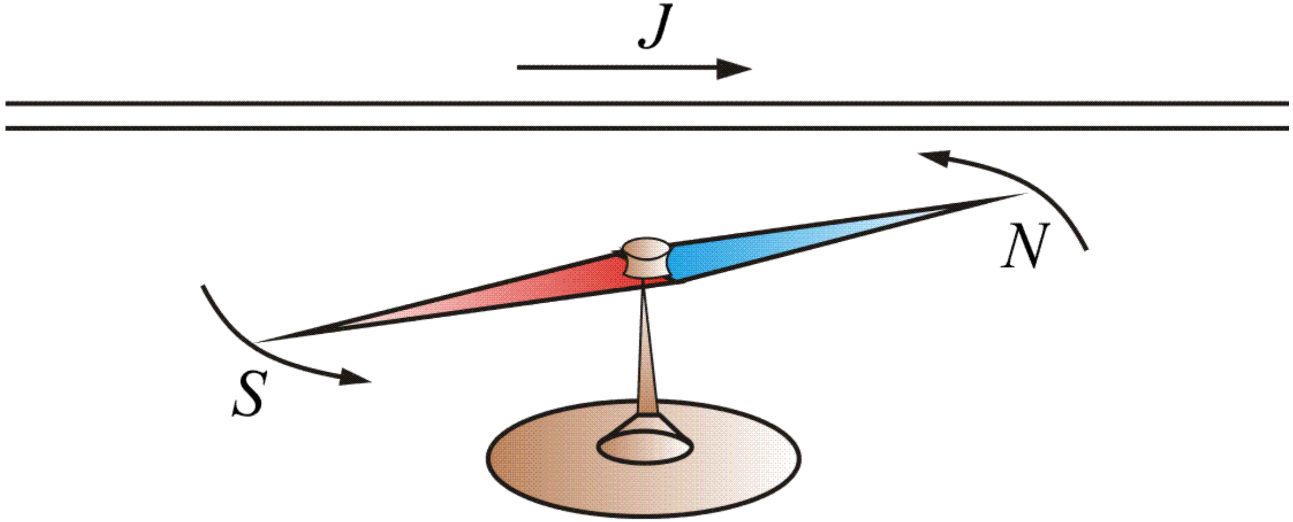
если рукоятка вращается по направлению тока в контуре, то поступательное движение штопора показывает направление вектора магнитного момента.

$$\vec{M} = \left[\vec{p}_m, \vec{B} \right]$$

$$\left[M \right] = 1\,\text{Дж} \qquad \left[p_m \right] = 1\,\text{Дж/Тл}$$

Под действием момента рамка поворачивается и устанавливается в МП так, что ее плоскость перпендикулярна силовым линиям. Если изменить направление тока в рамке или направление МП, то рамка переориентируется на 180°, но остановится в своем движении, когда ее плоскость будет вновь перпендикулярна силовым линиям МП.

При взаимодействии постоянных магнитов они испытывают результирующий момент сил, но не силу.
Подобно электрическому диполю, постоянный магнит в однородном поле стремится повернуться по полю.



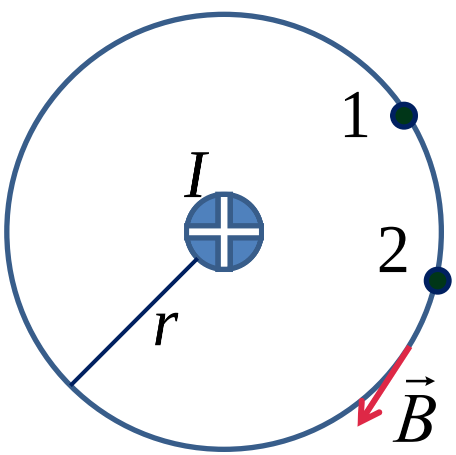
Магнитное напряжение

Магнитное напряжение зависит от формы пути и не может быть представлено в виде разности магнитных потенциалов. Оно не равно работе, совершаемой магнитным полем, т.к. магнитное поле не может совершать работы на зарядом!

$$U_{M12} = \int_1^2 (\vec{B}, d\vec{r})$$

Контур совпадает с линией индукции

$$\oint_L \left(\vec{B}, d\vec{l}\right) = B \cdot dl$$



$$U_{M12} = \int_1^2 \mu_0 \frac{I}{2\pi r} dl \qquad U_{\substack{M12 \\ поч.с}} < U_{\substack{M21 \\ противч.с}}$$

$$U_{\substack{M12 \\ замкнутый}} = \oint Bdl = \oint \mu_0 \frac{I}{2\pi r} dl = \mu_0 I$$

МП не является потенциальным!

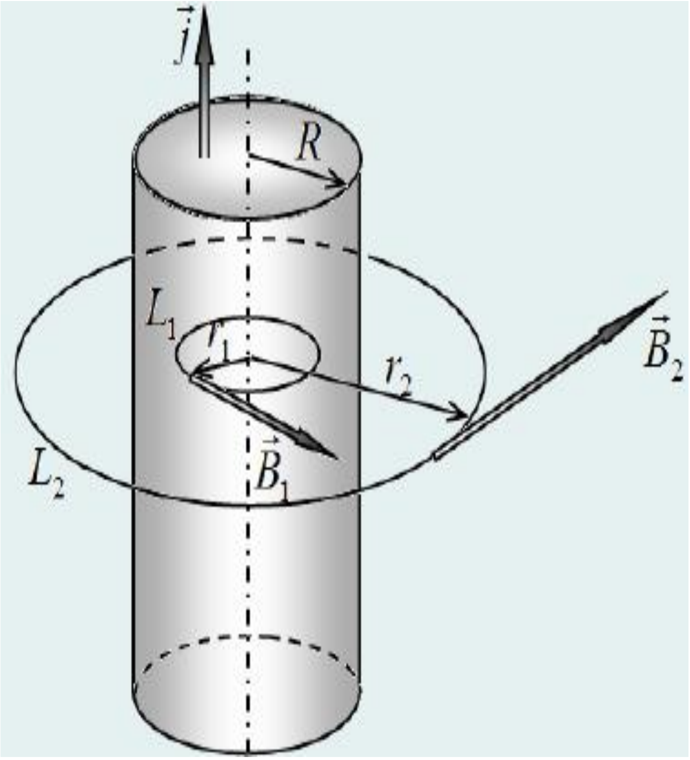
Теорема о циркуляции

Циркуляция вектора индукции МП по любому замкнутому контуру равна произведению магнитной постоянной и алгебраической суммы токов, пересекающих произвольную поверхность, опирающуюся на этот контур

$$\oint\left(\vec{B}, d\vec{l}\right) = \oint Bdl_{\perp} = \oint \mu_0 \frac{I}{2\pi r} r d\varphi = \mu_0 I$$

$$\oint\left(\vec{B}, d\vec{l}\right) = \oint\left(\sum_{i=1}^{N} \vec{B}, d\vec{r}\right) = \mu_0 \sum_{i=1}^{N} I$$

Пример: Прямой провод с током I и R



При $r_2 > R$

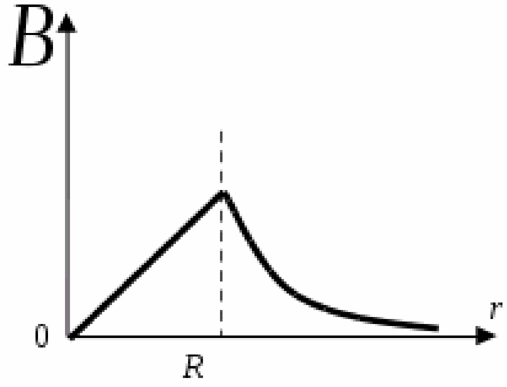
$$\oint\limits_L \left(\vec{B}, d\vec{l}\,\right) = B\oint dl = B \cdot 2\pi l = \mu_0 I$$

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 I}{2\pi l}}$$

Внутри при $r_1 < R$, контур охватывает ток

$$I' = I\,\frac{r_1^2}{R^2}$$

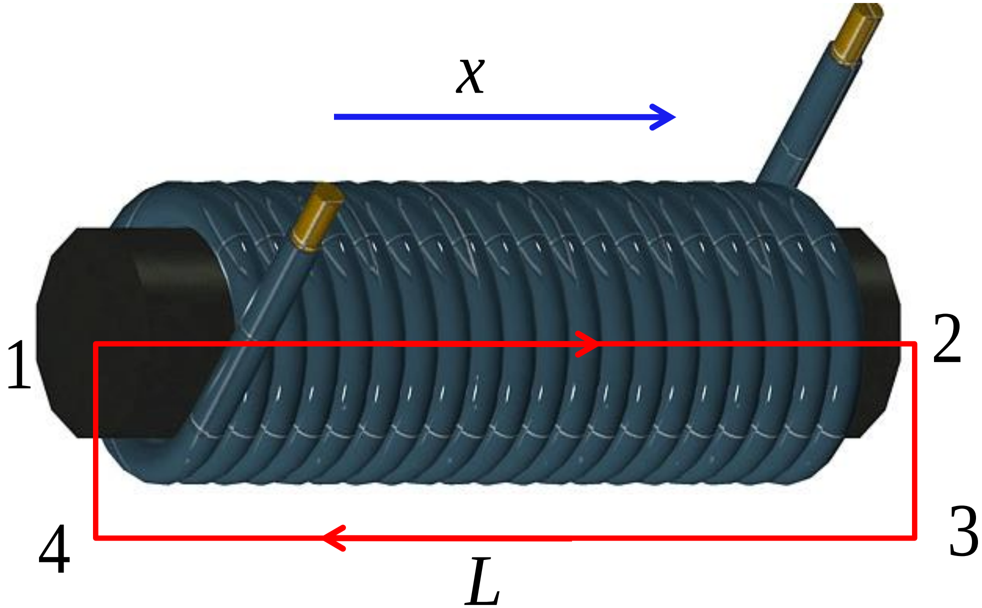
$$B \cdot 2\pi r_1 = \mu_0 I\,\frac{r_1^2}{R^2}$$

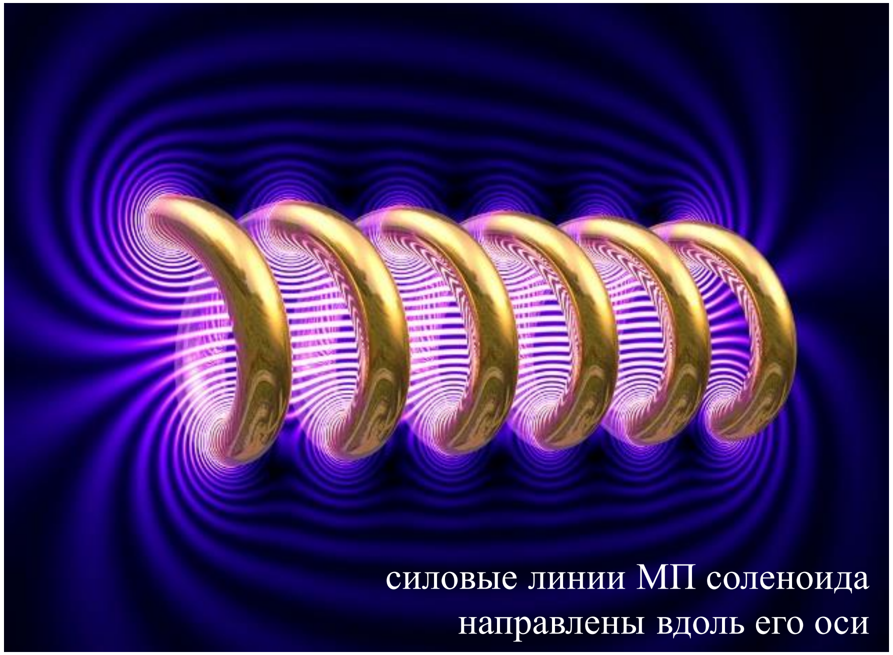


$$\boxed{B = \mu_0 I\,\frac{r}{2\pi R^2} = \mu_0\,\frac{j \cdot r}{2}}$$

Магнитное поле соленоида и торроида

Рассмотрим соленоид с током *I* (цилиндрическая катушка) без сердечника ($\mu = 1$) с числом витков *N*





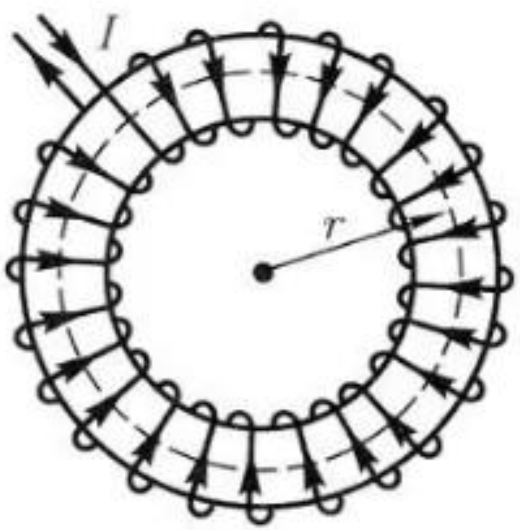
$$\oint\limits_L \left(\vec{B}, d\vec{l}\,\right) = \left\{B_{14} = B_{23} = 0\right\} = \int\limits_L B_l \, dl = \mu_0 N I$$

$$Bl = \mu_0 N I$$

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 N I}{l}}$$

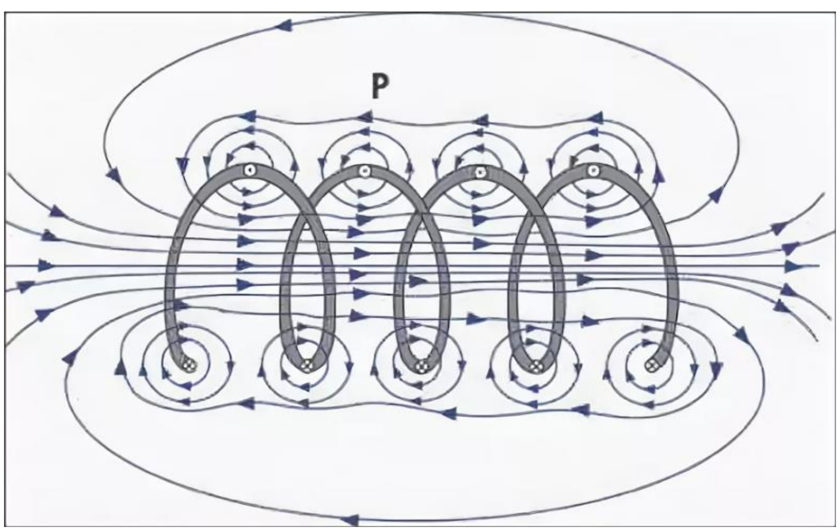
Магнитное поле соленоида

Магнитное поле торроида



$$B \cdot L = B \cdot 2\pi r = \mu_0 NI$$

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



$$\left(rot\vec{B}\right)_n = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\oint\left(\vec{B}, d\vec{r}\right)}{\Delta S}$$

$$\Delta I = \left(\vec{j}, \Delta\vec{S}\right) = \vec{j}\vec{n}\Delta S = j_n \Delta S$$

$$\boxed{\mathbf{rot}\vec{B} = \mu_0 \vec{j}}$$