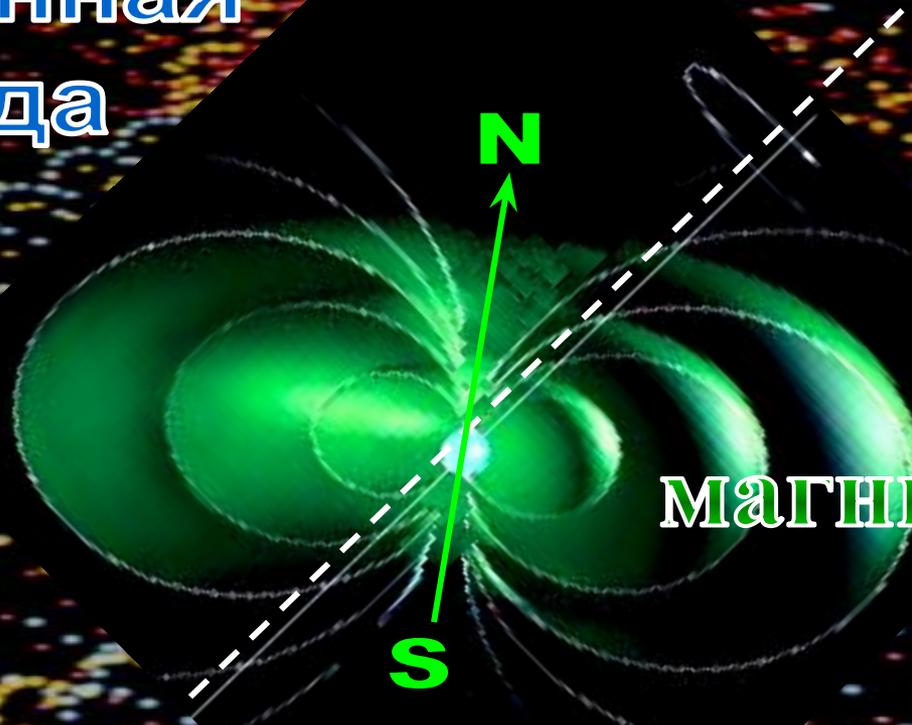


нейтронная
звезда



магнитосфера

ФИЗИКА

Лекция

- 1. Магнитное поле. Вектор магнитной индукции **B**.
- 2. Закон Ампера
- 3. Закон Био - Савара –Лапласа
- 4. Магнитное поле прямого проводника с током, кругового тока, соленоида
- 5. Сила Лоренца.
- 6. Электромагнитная индукция

1. Магнитные явления

Магнитные явления были известны еще в древнем мире.

Первое в Европе опытное исследование магнита было проведено во Франции в XIII в. В результате было установлено наличие у магнита двух полюсов.

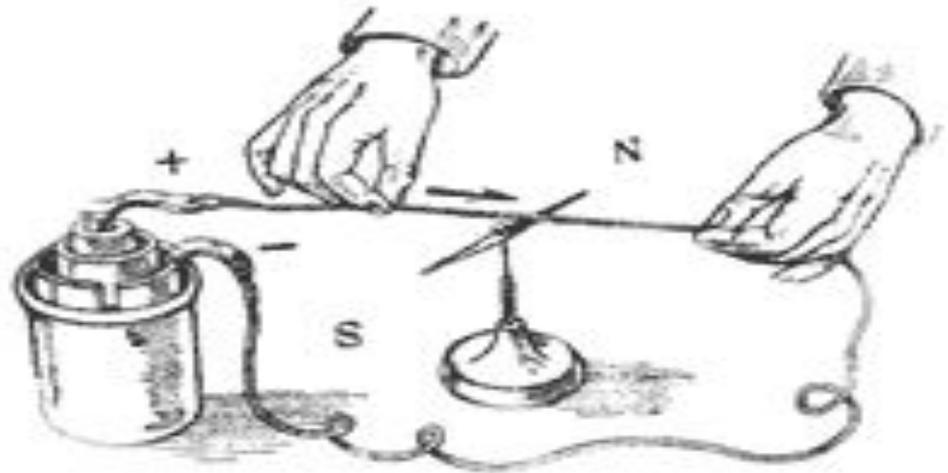
В 1600 г. Гильбертом была выдвинута гипотеза о том, что Земля представляет собой большой магнит: этим и обусловлена возможность определения направления с помощью компаса.

Однако только в XIX веке была обнаружена связь между электричеством и магнетизмом и возникло представление о *магнитном поле*.



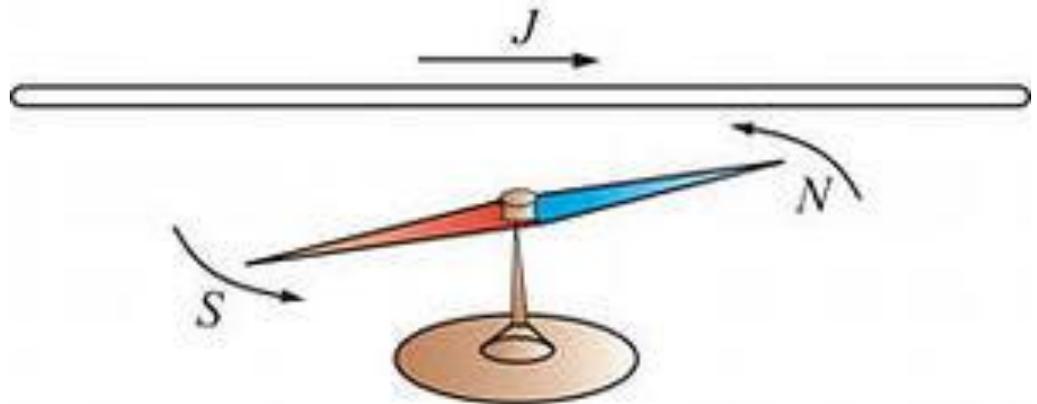
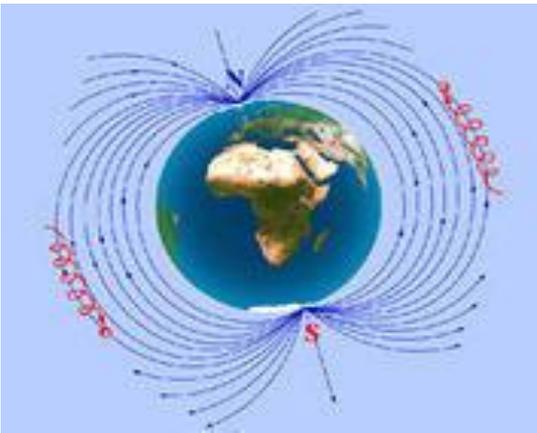
Опыты Эрстеда

- Первыми опыты, показавшие связь между электрическими и магнитными явлениями были проведены датским физиком Х. Эрстедом (1820 г.).
- Эти опыты показали, что на магнитную стрелку, вблизи проводника с током, действуют силы стремящиеся повернуть стрелку.



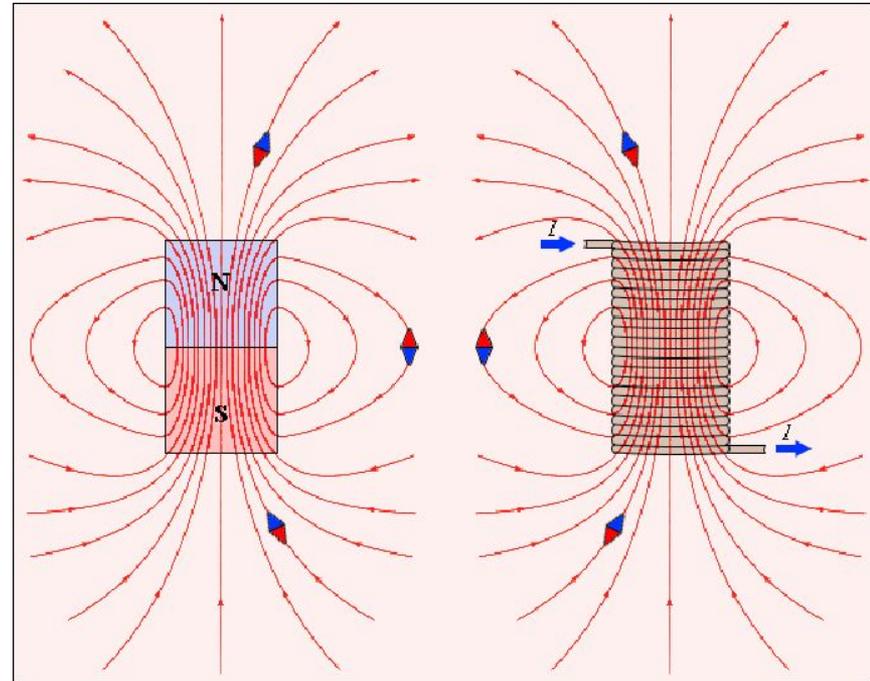
Магнитное поле

- Особая материальная среда, в которой проявляется воздействие на физические приборы (магнитную стрелку, рамку с током), называют ***магнитным полем***.
- Магнитное поле создается:
 - Движущимися зарядами или заряженными телами
 - Проводниками с током
 - Намагниченными телами



Магнитное поле

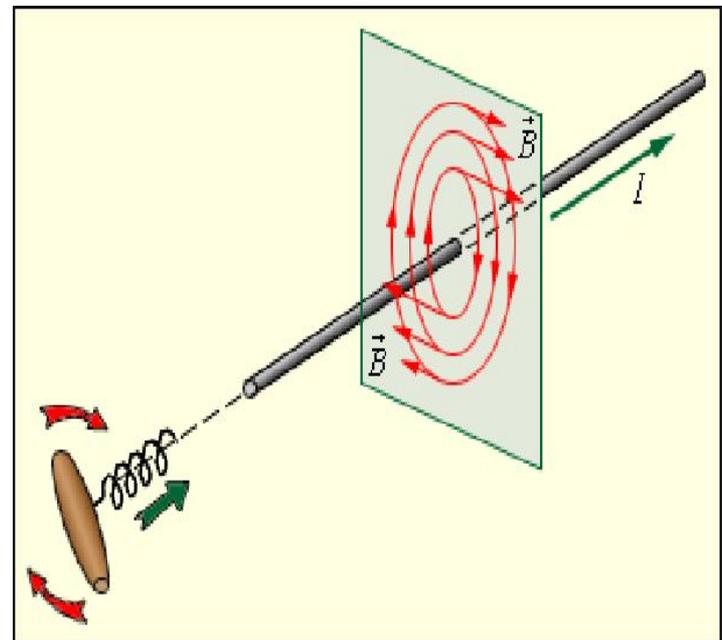
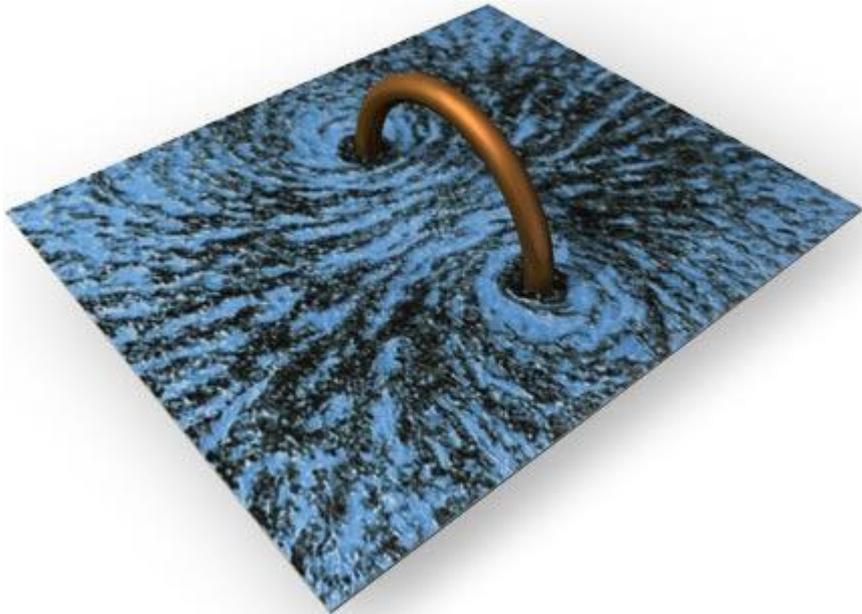
- Магнитное поле имеет направление и должно характеризоваться векторной величиной.
- Основной силовой характеристикой магнитного поля является **магнитная индукция B [Тесла]**
- Тесла – очень крупная единица.
- Магнитное поле Земли приблизительно равно $50 \cdot \text{мкТл}$



Силовые линии магнитного поля

Линии магнитной индукции всегда замкнуты, они нигде не обрываются. Это означает, что магнитное поле не имеет источников – магнитных зарядов.

Касательная к этим линиям в каждой точке совпадает с направлением вектора \mathbf{B} , а густота линий пропорциональна модулю вектора \mathbf{B} в данном месте



Принцип суперпозиции

- Магнитное поле подчиняется **принципу суперпозиции**:
- Если магнитное поле создается несколькими источниками (проводниками с током или движущимися зарядами), то индукция B результирующего поля есть векторная сумма индукций полей, создаваемых каждым источником в отдельности.

$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i$$

2. Опыты Ампера

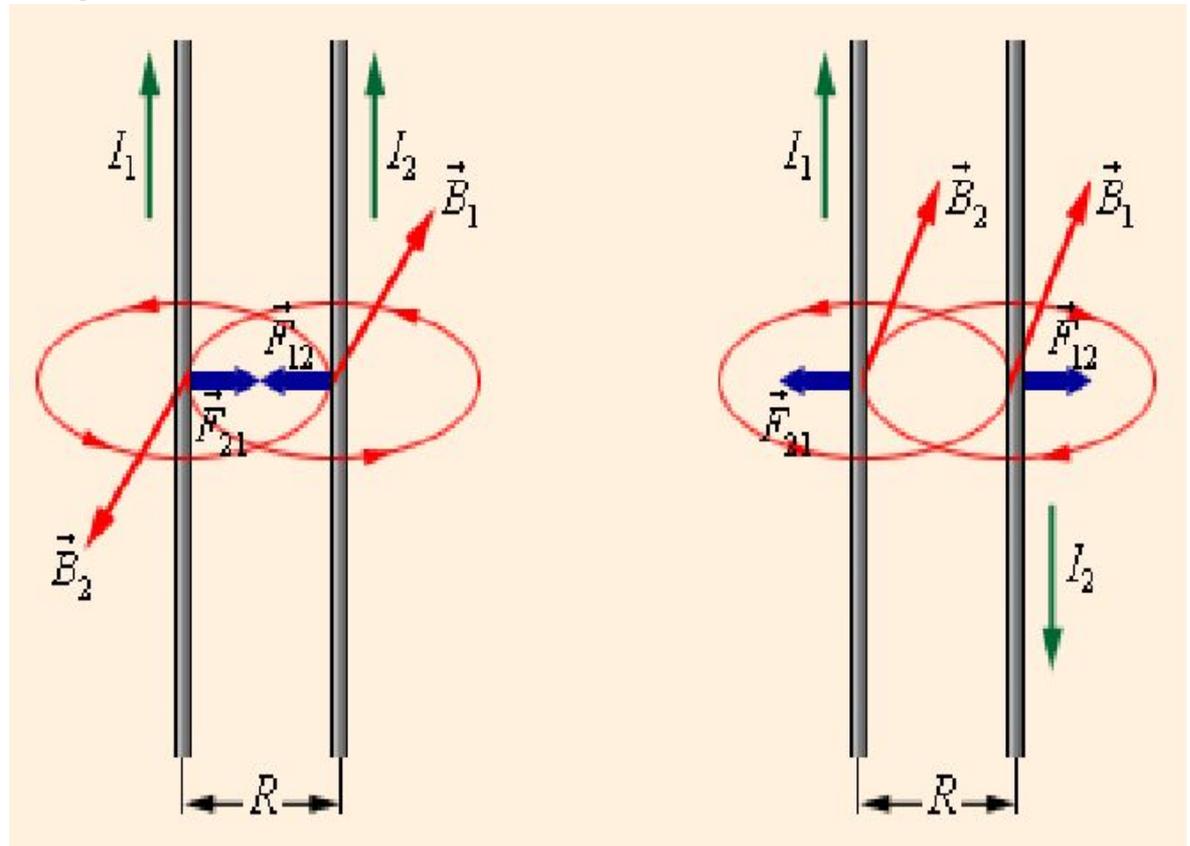
- В течение сентября 1820 г. французский физик, химик и математик А.М. Ампер разрабатывает новый раздел науки об электричестве - электродинамику.



Опыты Ампера

- Электрические токи взаимодействуют между собой: два тонких проводника притягиваются, если токи в них имеют одинаковое направление, и отталкиваются, если направления токов противоположны.

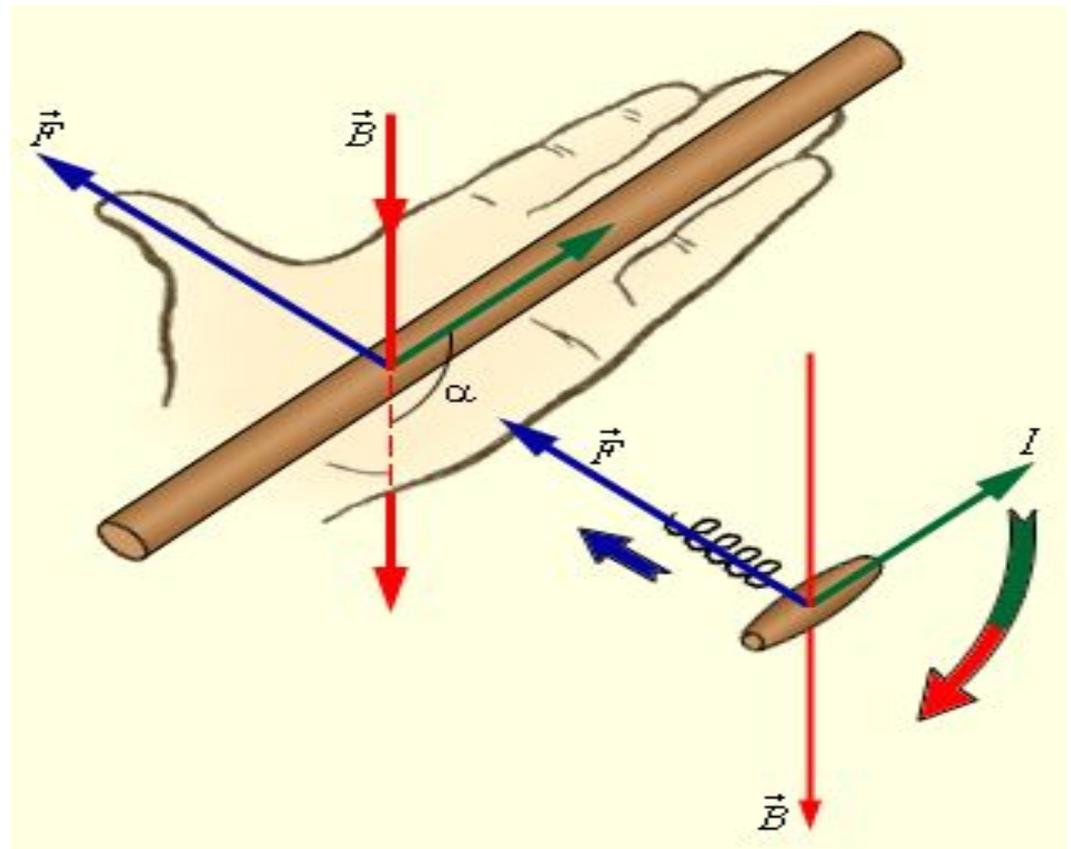
$$\frac{dF}{dl} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1I_2}{R}$$



Сила Ампера

- Сила, действующая на элемент тока в магнитном поле

$$d\vec{F} = I [d\vec{l}, \vec{B}]$$



Сила Ампера

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\Gamma H}{M} \right]$$

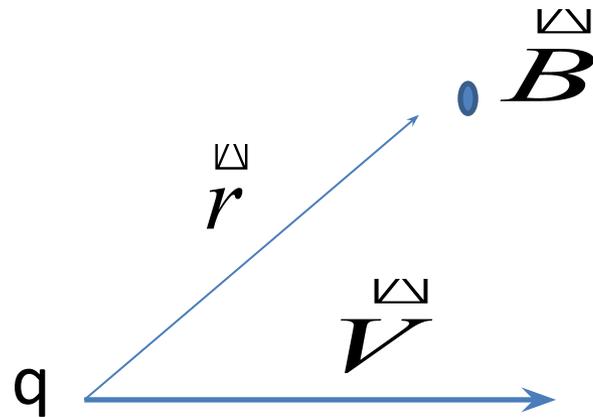
$$c^2 = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}$$

1 Ампер – сила постоянного тока, который, проходя по двум параллельным бесконечно длинным проводникам, расположенным на расстоянии 1 м друг от друга, вызывает силу взаимодействия между проводниками $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

Магнитное поле движущегося заряда

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{q[\vec{V}\vec{r}]}{r^3}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{qV}{r^2} \cdot \sin \alpha$$



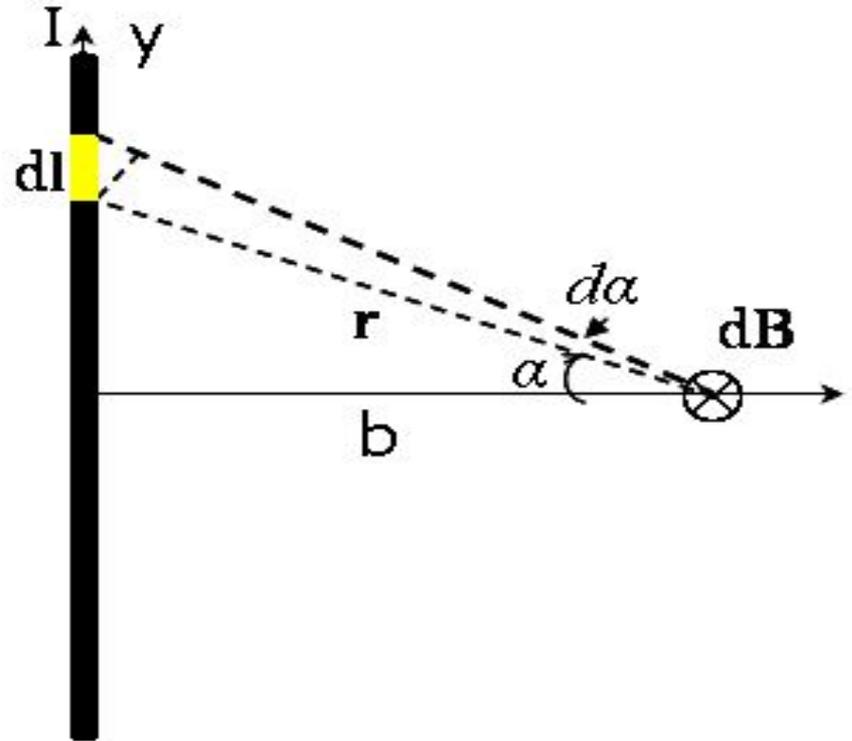
3. Закон Био-Савара-Лапласа, 1820 г.

Магнитное поле возникает в пространстве, окружающем проводники с током.

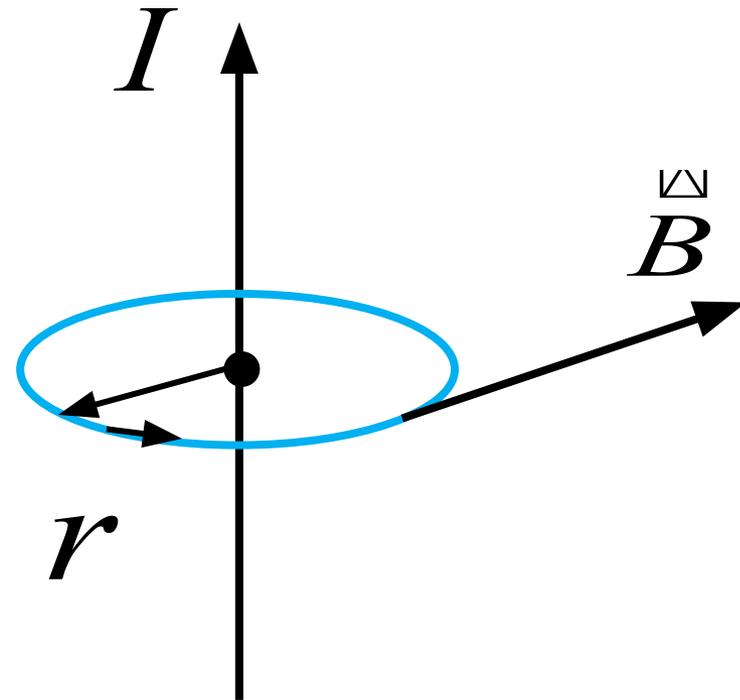
Магнитное поле постоянных магнитов также создается электрическими микротоками, циркулирующими внутри молекул.

Магнитное поле, создаваемое линейным элементом тока имеет вид:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I [d\mathbf{l}, \mathbf{r}]}{r^3}$$



4. Магнитное поле бесконечного прямого тока



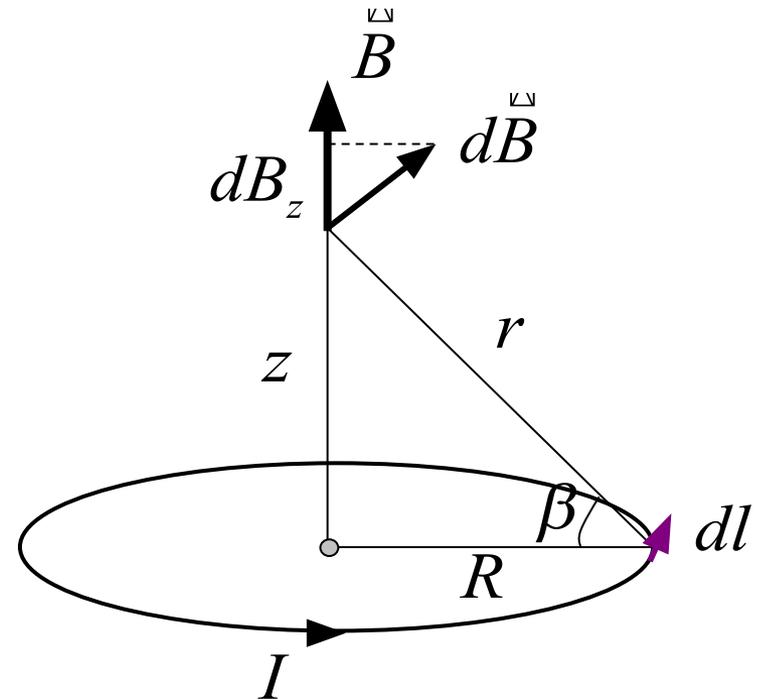
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r}$$

Магнитное поле кругового тока

Магнитная индукция
на оси кругового тока:

$$B(z) = \frac{\mu_0}{2} \frac{R^2 I}{(z^2 + R^2)^{3/2}}$$

$$B(z=0) = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{R}$$



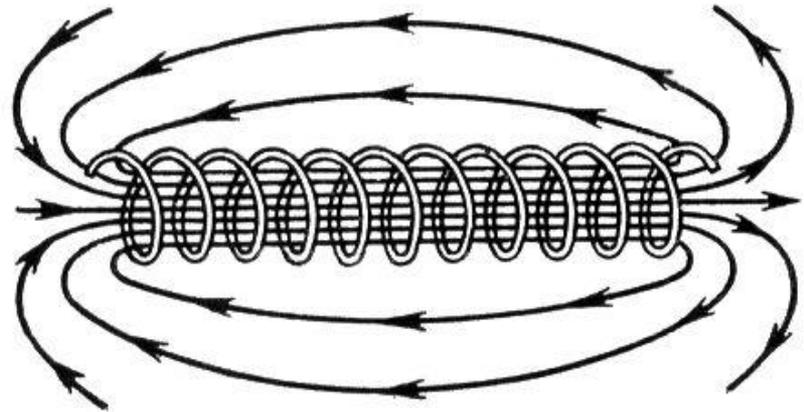
Магнитное поле соленоида

Пусть ток I течет по проводнику, намотанному на поверхность цилиндра. Такой, обтекаемый ток цилиндр называется *соленоидом*. На единицу длины соленоида приходится n витков проводника.

Если шаг винтовой линии достаточно мал, то каждый виток соленоида можно приближенно заменить замкнутым витком.

$$B = \mu_0 n I$$

Произведение nI
называют
числом
ампервитков.



5. Сила Лоренца

- На заряд, движущийся в магнитном поле, действует сила, которая определяется величиной заряда q , скоростью \mathbf{V} и индукцией магнитного поля \mathbf{B} .

$$\mathbf{F} = q[\mathbf{V}\mathbf{B}]$$

- Это соотношение можно рассматривать, как **определение индукции магнитного поля**. Если имеются одновременно электрическое поле, то

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q[\mathbf{V}\mathbf{B}]$$

- Это выражение получено Лоренцем путем обобщения экспериментальных данных и называется **силой Лоренца**. Она состоит из электрической и магнитной составляющих.

Частица в магнитном поле

Заряженная частица движется в однородном МП под действием F_L

ее скорость лежит в плоскости, \perp вектору магнитной индукции B

Период обращения частицы в однородном МП

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Для заряженных частиц заданной массы период обращения **НЕ** зависит от скорости и радиуса траектории

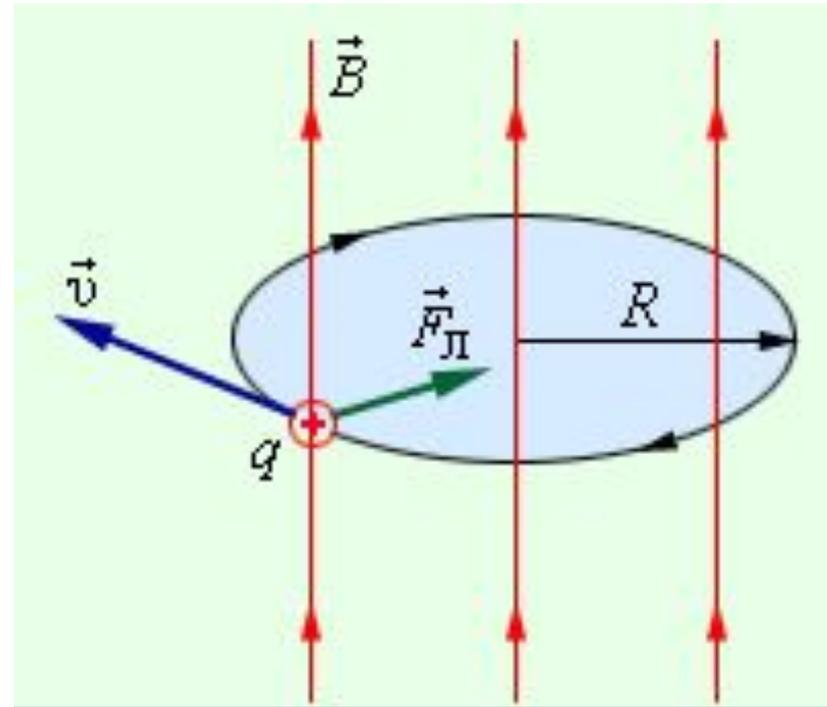


частица движется по окружности

$$F = ma$$

$$\frac{mv^2}{R} = qvB$$

$$R = \frac{mv}{qB}$$



Круговое движение заряженной частицы в однородном МП

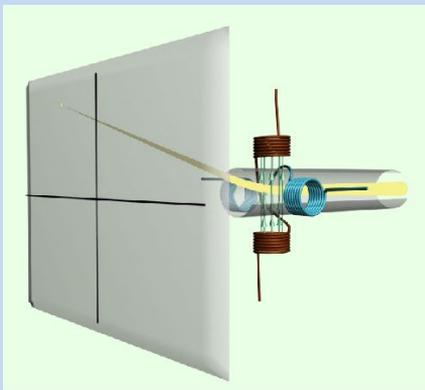
Практическое использование

Циклотронная частота

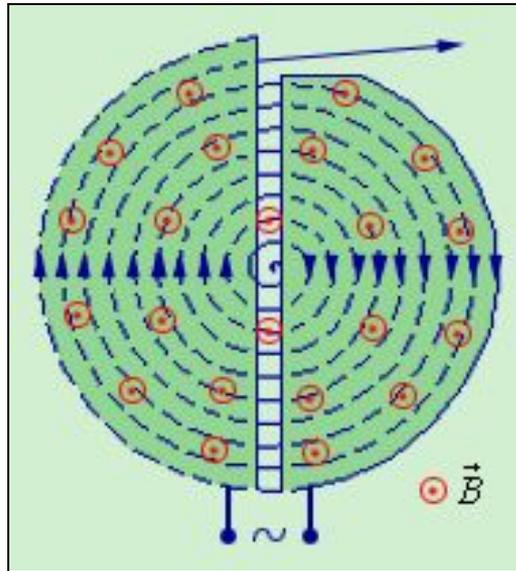
$$\omega = \frac{v}{R} = v \frac{qB}{mv} = \frac{qB}{m}$$



НЕ зависит от скорости, т.е и от кинетической энергии частицы



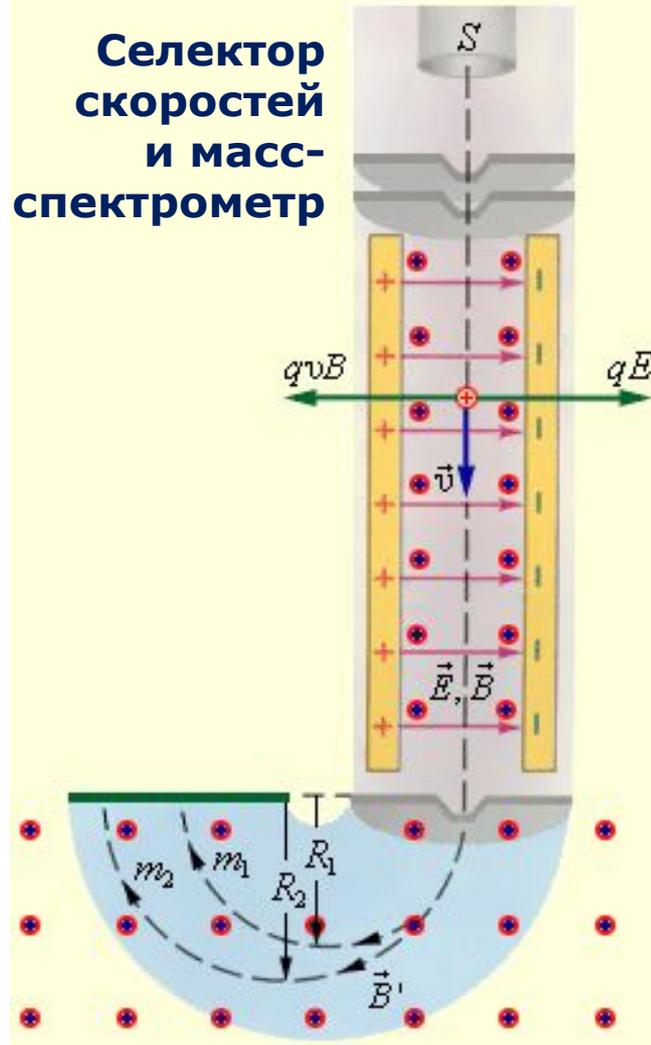
Электронно-лучевая трубка



Ускорители заряженных частиц

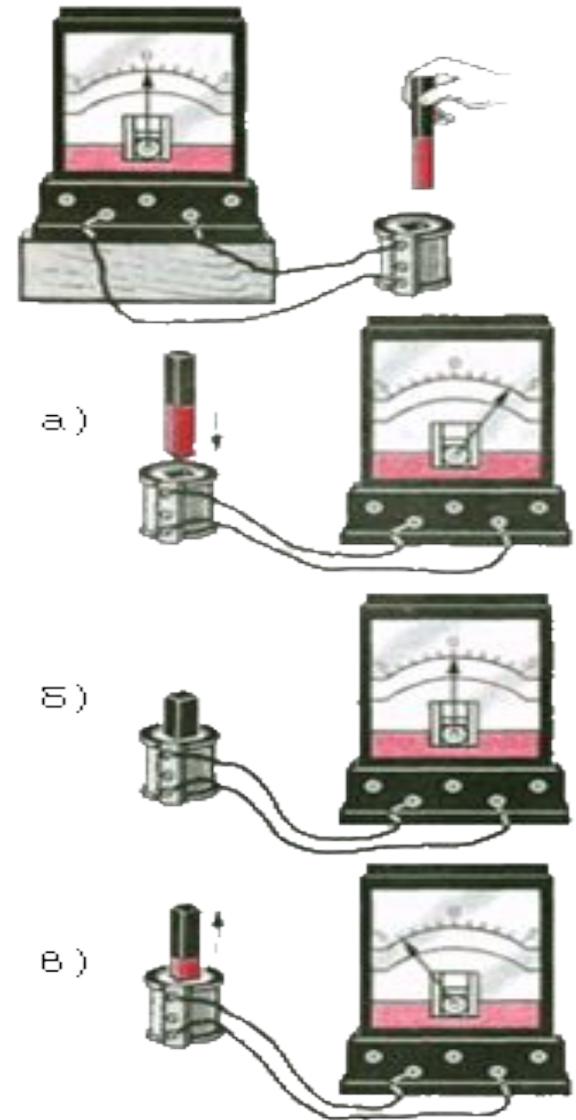
Движение заряженных частиц в вакуумной камере циклотрона

Селектор скоростей и масс-спектрометр

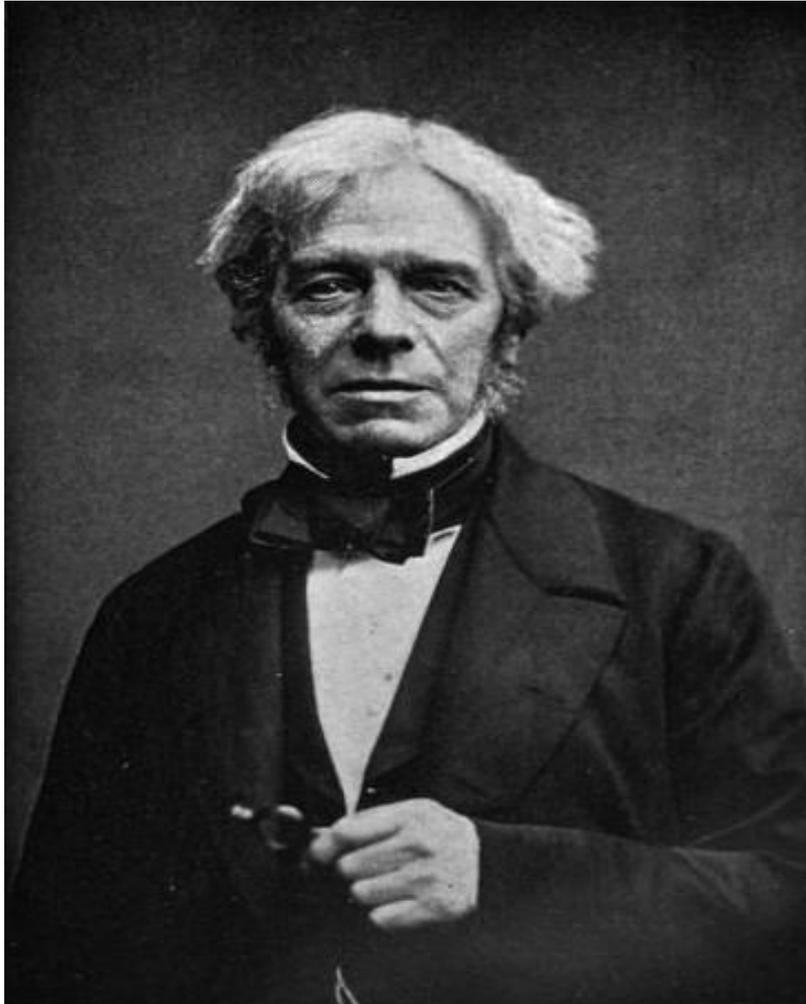


6. Электромагнитная индукция

- В 1831 г. Фарадей обнаружил, что в замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции через поверхность, ограниченную этим контуром, возникает электрический ток.
- Это явление называют **электромагнитной индукцией**, а возникающий при этом ток – **индукционным**.



Электромагнитная индукция



Майкл
Фарадей

- Действуя чисто эмпирически, Фарадей смог **17 октября 1831 г. обнаружить явление электромагнитной индукции:** возникновение в цепи электрического тока при изменении внешнего магнитного поля.
- Успех принес опыт, кажущийся сейчас тривиальным: вокруг металлического кольца обвивалось два отдельных витка провода: по одному из них, соединенному с батареей, пропускался электрический ток. Целью ученого было выяснить, не возникнет ли ток в «мертвом» проводе под воздействием «живого».

Закон электромагнитной индукции Фарадея

ЭДС электромагнитной индукции в контуре равна скорости изменения магнитного потока, охватываемого этим контуром:

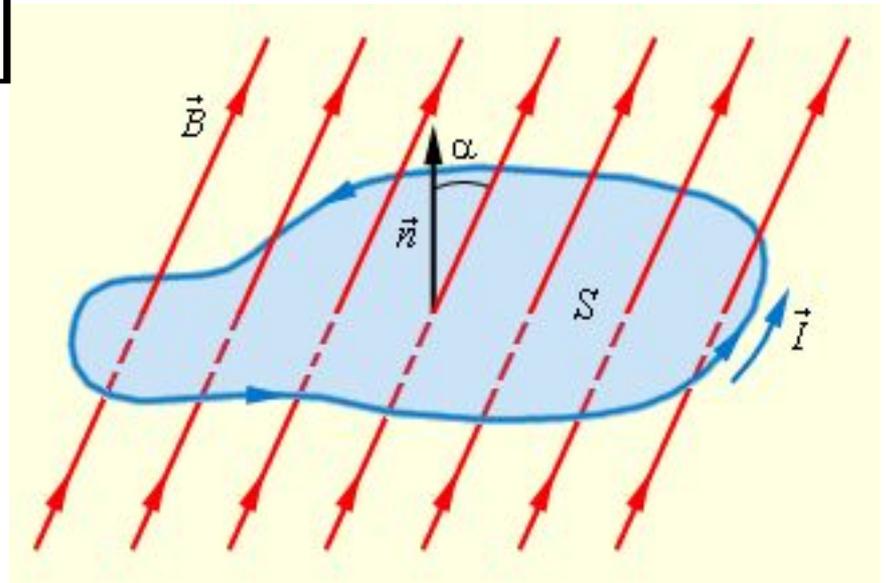
$$\mathcal{E}_{\text{индукции}} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Магнитный поток

$$d\Phi_B = \vec{B} d\vec{S} = B dS \cos \alpha = B_n dS$$

$$\Phi_B = \int_S d\Phi = \int_S B dS \cos \alpha$$

$$[\Phi] = [Tл \cdot м^2] = [Вб]$$



Правило Ленца

Индукционный ток направлен так, чтобы его магнитное поле противодействовало породившей его причине.

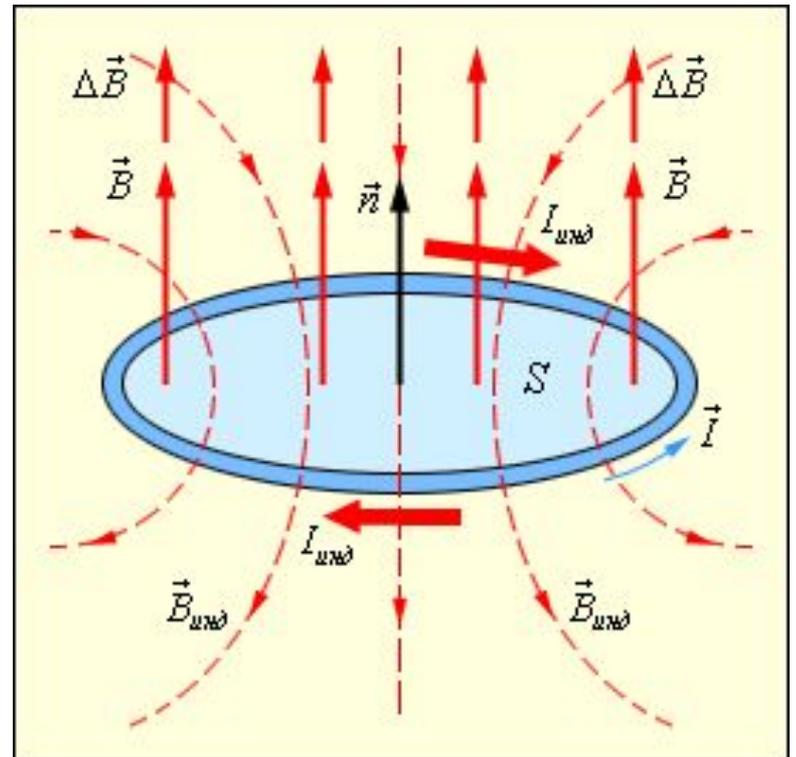
$$\Phi = \int_S \vec{B} dS$$

$$\frac{d\Phi}{dt} > 0 \Rightarrow \Phi_{\text{инд}} < 0$$

Индукционный ток –

по часовой стрелке

$$\vec{B}_{\text{инд}} \uparrow \downarrow \vec{B}$$



Явление самоиндукции

- Электрический ток, текущий в любом контуре, создает пронизывающий этот контур магнитный поток $\Phi = LI$
- При изменении силы тока в контуре изменяется и Φ , вследствие чего в контуре индуцируется ЭДС. Это явление называется **самоиндукцией**.

$$\mathcal{E}_{\text{самоинд}} = -\frac{d(LI)}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

L – индуктивность [Гн]

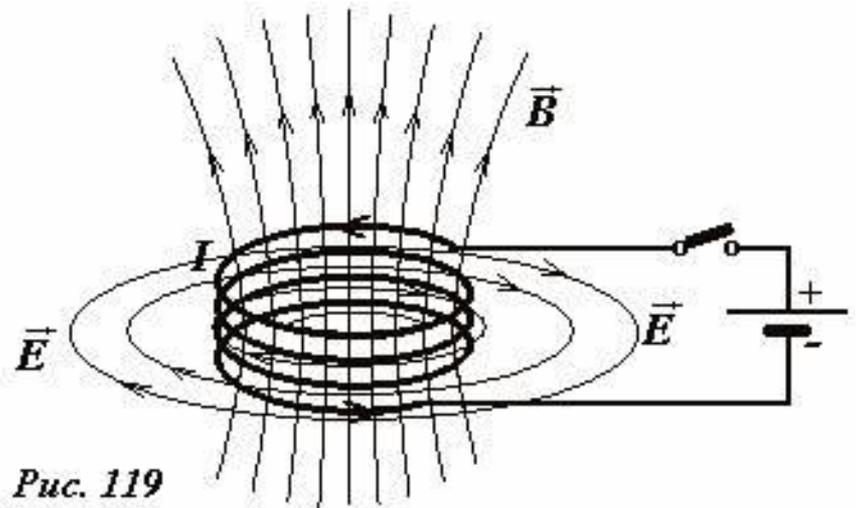


Рис. 119

Индуктивность соленоида

- l – длина соленоида, считается очень большой, S – площадь поперечного сечения, n – число витков на единицу длины. Тогда

$$\Phi = N\Phi_1 = n l B S = n l \mu_0 n I S$$

$$L = \mu_0 n^2 S l = \mu_0 n^2 V$$

- Где V – объем соленоида.