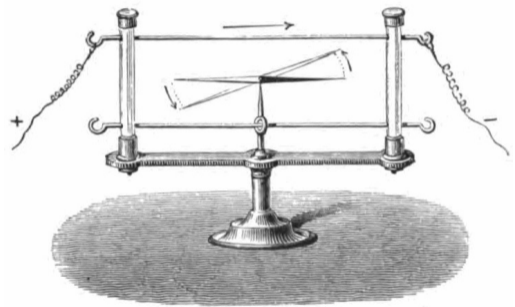


Восточно-Сибирский университет технологий и управления  
*Технологический колледж— Физика*

# Электромагнетизм

## Магнитное поле

Улан-Удэ / 2018



Х. Эрстед, 1820 г.

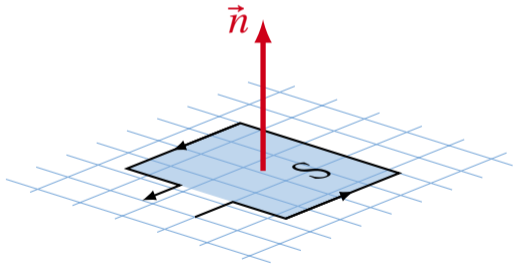
Опыт показывает, что, в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты, возникает **силовое поле**:

1. Наличие магнитного поля обнаруживается по силовому действию на внесенные в него проводники с током или постоянные магниты.
2. Магнитное поле действует только на движущиеся электрические заряды.
3. Характер воздействия магнитного поля на ток различен в зависимости от формы проводника, по которому течет ток, от расположения проводника и от направления тока

Ориентация контура в пространстве определяется направлением нормали к контуру

### *Правило правого винта*

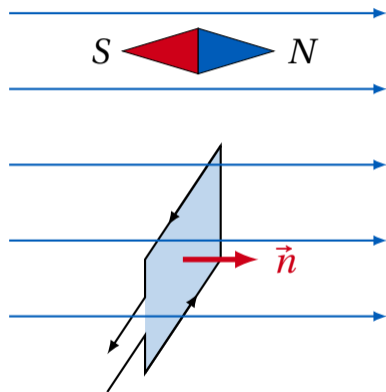
За положительное направление нормали принимается направление поступательного движения винта, рукоятка которого вращается в направлении тока, текущего в рамке



Магнитное поле оказывает **ориентирующее действие** на замкнутый контур с током.

За направление магнитного поля в данной точке принимается:

1. направление, вдоль которого располагается положительная нормаль к рамке.
2. направление, совпадающее с направлением силы, действующей на северный полюс магнитной стрелки



#### *Магнитное поле*

Особую форму материи (силовое поле), посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися заряженными частицами или телами, обладающими магнитным моментом.

- ▶ Неподвижные заряды не создают магнитного поля. Только движущиеся заряды (электрический ток) и постоянные магниты создают магнитное поле.
- ▶ Постоянные магниты имеют два полюса: северный  $N$  и южный  $S$ ; одноименные полюсы отталкиваются друг от друга, а разноименные притягиваются.

Если отдельные тела можно зарядить положительно или отрицательно, так как существует элементарный электрический заряд, то никогда нельзя отделить северный полюс магнита от южного.

Таким образом, нет оснований считать, что в природе существуют отдельные магнитные заряды.

**Вращающий момент сил:**

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

$\vec{p}_m$  – вектор магнитного момента рамки с током;

$\vec{B}$  – вектор магнитной индукции.

$$M = p_m \cdot B \cdot \sin \alpha,$$

Для плоского контура с током **магнитный момент:**

$$\vec{p}_m = IS\vec{n},$$

$S$  – площадь поверхности контура (рамки);

$\vec{n}$  – единичный вектор нормали к поверхности рамки



### *Магнитная индукция*

характеристика магнитного поля, которая в данной точке однородного магнитного поля определяется максимальным вращающим моментом, действующим на рамку с магнитным моментом, равным единице, когда нормаль к рамке перпендикулярна направлению положительная

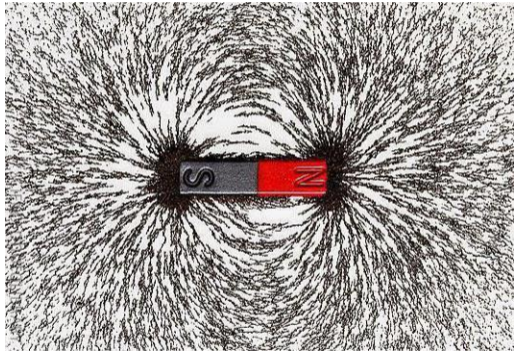
$$B = \frac{M_{max}}{p_m}$$

**Однородное магнитное поле** — магнитное поле, в каждой точке которого вектор магнитной индукции одинаков —  
 $\vec{B} = const$

### *Линии магнитной индукции*

линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора  $\vec{B}$

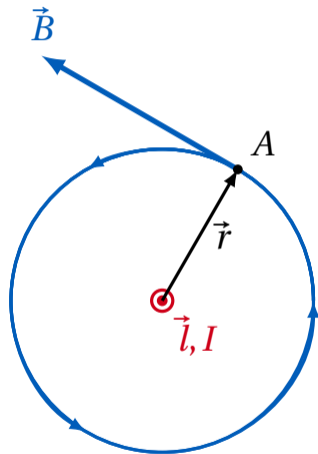
Линии магнитной индукции всегда замкнуты и охватывают проводники с током



### Правило правого винта

Направление вращения рукоятки винта дает направление  $\vec{V}$ , если поступательное движение винта соответствует направлению тока в элементе  $l$

Направление  $\vec{V}$  перпендикулярно  $\vec{l}$  и  $\vec{r}$ , и совпадает с касательной к линии магнитной индукции



### *Принцип суперпозиции*

Магнитная индукция результирующего поля, создаваемого несколькими токами или движущимися зарядами, равна векторной сумме магнитных индукций складываемых полей, создаваемых каждым током или движущимся зарядом в отдельности

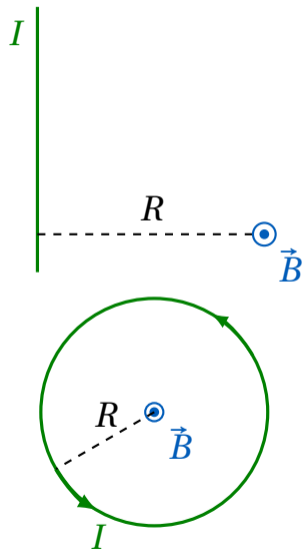
$$\vec{B} = \sum_i \vec{B}_i = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots$$

**Магнитное поле прямого  
бесконечного проводника**

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{2I}{R}$$

**Магнитное поле в центре  
кругового проводника**

$$B = \mu_0 \mu \frac{I}{2R}$$

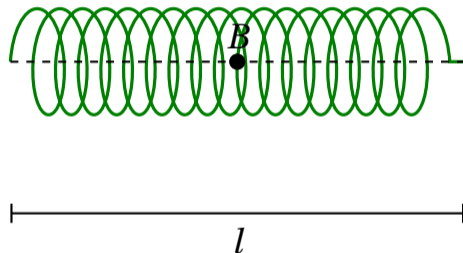


## Магнитное поле в центре соленоида (катушки)

$$B_{\text{вне}} \ll B_{\text{внутри}}, \quad B_{\text{вне}} \approx 0$$

$$B_{\text{внутри}} = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

Поле внутри соленоида однородно



Магнитная индукция зависит в данной точке от рода вещества, т. е. зависит от свойств среды.

**Магнитная проницаемость среды:**

$$\mu = \frac{B}{B_0}, \quad B = \mu B_0,$$

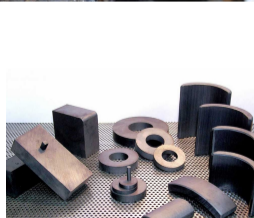
$B$  и  $B_0$  – магнитные индукции соответственно в данной однородной изотропной среде и в вакууме

Магнитная проницаемость характеризует магнитные свойства среды, она зависит от рода вещества и температуры.

$\mu$  – вакуум

$\mu$  – величина безразмерная;

1. **Диамагнетики**  $\mu < 1$   
(вода, мрамор, золото, ртуть, инертные газы);
2. **Парамагнетики**  $\mu > 1$   
(кислород, алюминий, платина, щелочные металлы).
3. **Ферромагнетики**  $\mu \gg 1$   
– парамагнетики, обладающие сильными магнитными свойствами (железо, кобальт, никель)





### Закон Ампера

Сила  $\vec{F}$ , с которой магнитное поле действует на элемент проводника  $\vec{l}$  с током  $I$ , находящегося в магнитном поле  $\vec{B}$ , равна

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

$$F = I \cdot B \cdot l \cdot \sin \alpha$$

$$\alpha = \angle \vec{l}, \vec{B}$$

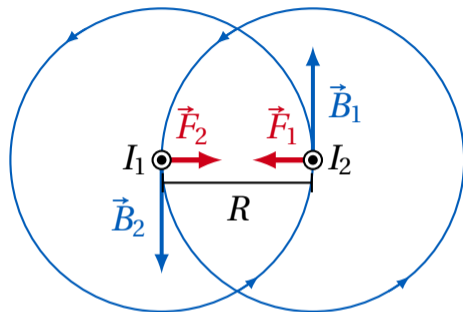
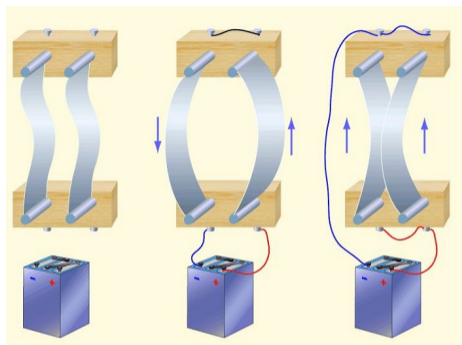
### Правило левой руки

Если ладонь левой руки расположить так, чтобы в нее входил вектор  $\vec{B}$ , а четыре вытянутых пальца расположить по направлению тока в проводнике, то отогнутый большой палец покажет направление силы, действующей на ток

$$F = IBl, \quad \Rightarrow \quad B = \frac{F}{I \cdot l}$$

**1 Тл (тесла)** — магнитная индукция такого однородного магнитного поля, которое действует с силой 1 ньютон на каждый метр длины прямолинейного проводника, расположенного перпендикулярно направлению поля, если по этому проводнику проходит ток 1 ампер.

$$1 \text{ Тл} = \frac{1 \text{ Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$$



$$B_1 = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{2I_1}{R}, \quad \begin{cases} F_1 = I_2 B_1 l = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{R} l, \\ F_2 = I_1 B_2 l = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{R} l, \end{cases} \quad F_1 = F_2$$

Потоком вектора магнитной индукции (магнитным потоком) через площадку  $S$  называется скалярная физическая величина, равная

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{S} = B_n S$$

Для однородного поля и плоской поверхности, расположенной перпендикулярно вектору  $\vec{B}$

$$\Phi = BS = [\text{Тл} \cdot \text{м}^2]$$

**Потокоцепление**

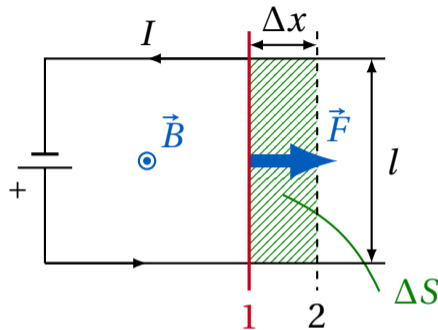
$$\Psi = \Phi \cdot N$$

$$F = IBl$$

$$A = F\Delta x = IBl \cdot \Delta x = IB \cdot \Delta S = I \cdot \Delta \Phi$$

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле равна произведению силы тока на магнитный поток, пересеченный движущимся проводником

$$A = I \cdot \Delta \Phi, \quad \leftarrow \quad I = \text{const}$$

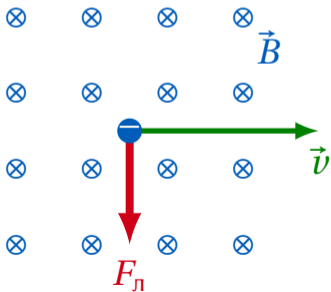


Работа по перемещению замкнутого контура равна произведению силы тока в контуре на изменение магнитного потока

## Сила Лоренца

$$\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}], \quad F_L = qvB\sin\alpha$$

$$\alpha = \angle \vec{v}, \vec{r}.$$



1. Магнитное поле не действует на покоящийся заряд
2. Сила Лоренца изменяет только направление скорости, не изменяя ее модуля
3. Постоянное магнитное поле не совершает работы
4. Кинетическая энергия заряженной частицы в магнитном поле не изменяется

Сила, действующая на движущийся заряд в электрическом и магнитном полях ( $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ )

$$\vec{F} = \vec{F}_{\text{Кулон}} + \vec{F}_{\text{л}} = q\vec{E} + q[\vec{v}, \vec{B}]$$

$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

Траектория — **окружность**

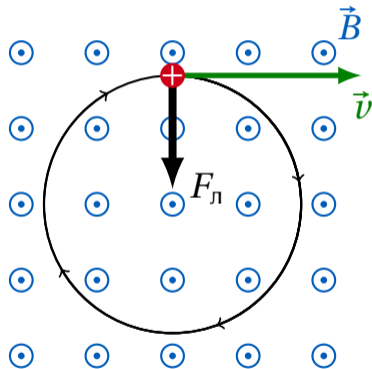
$$F = ma, \quad \Rightarrow \quad qvB = m \frac{v^2}{R}$$

Радиус окружности:

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

Период вращения:

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





$$\vec{v} \parallel \vec{B}$$

Траектория — **прямая**

$$\vec{F}_n = q[\vec{v}, \vec{B}] = 0,$$

$$\vec{v} = \text{const}$$

$$\vec{v} \nparallel \vec{B}$$

Траектория — **цилиндрическая винтовая линия**

1. Равномерное прямолинейное движение вдоль поля со скоростью  $v_{\parallel} = v \cos \alpha$
2. Равномерное движение со скоростью  $v_{\perp} = v \sin \alpha$  по окружности в плоскости, перпендикулярной полю

$$\vec{v} \nparallel \vec{B}$$

Траектория — **цилиндрическая винтовая линия**

Радиус винтовой линии

$$r = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

Шаг винтовой линии

$$h = v_{\parallel} T = vT \cos \alpha = \frac{2\pi mv \cos \alpha}{qB}$$

