

# ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

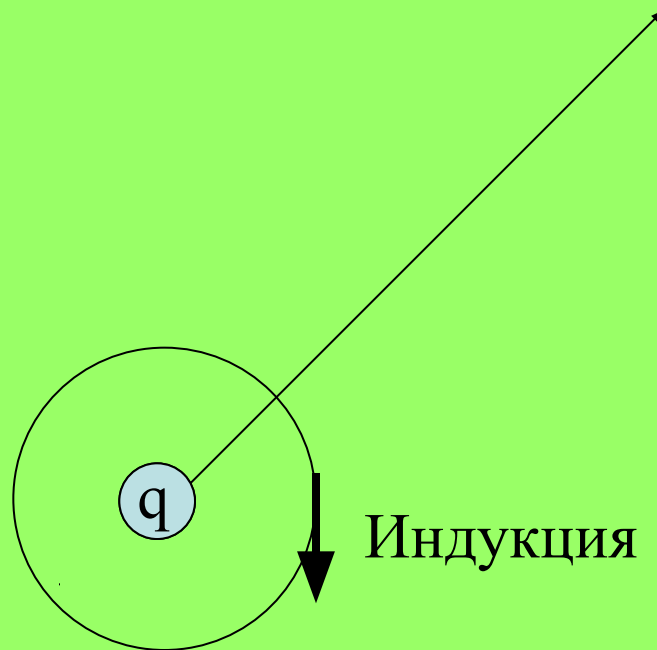
*проф. Целебровский Юрий Викторович*

# электромагнитное поле.

## Магнитное поле

*Магнитным полем* называют одну из двух сторон электромагнитного поля, характеризующуюся воздействием на движущуюся электрически заряженную частицу с силой, пропорциональной заряду частицы и её скорости.

Магнитное поле создается движущейся заряженной частицей.



*(правило буравчика)*

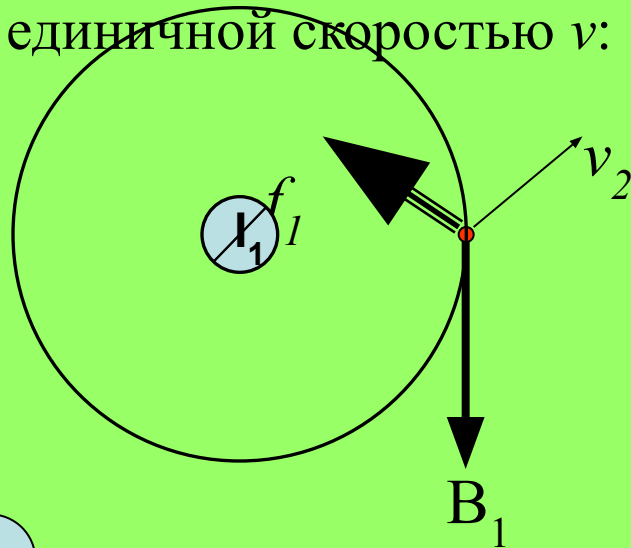
# электромагнитное поле.

## Магнитное поле

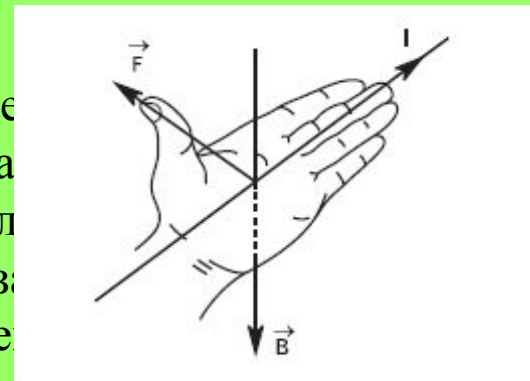
Основной физической величиной, характеризующей магнитное поле в каждой его точке, является магнитная индукция.

**Магнитной индукцией** называется *векторная* величина, определяющая силу  $f$ , действующую на единичный заряд  $q$ , и направленную перпендикулярно направлению движения заряда, движущегося с единичной скоростью  $v$ :

$$B_1 = \frac{f_1}{q_2 v_2}$$



Ве  
на  
пл  
вз  
ве



и  
)  
от

(правило левой руки)

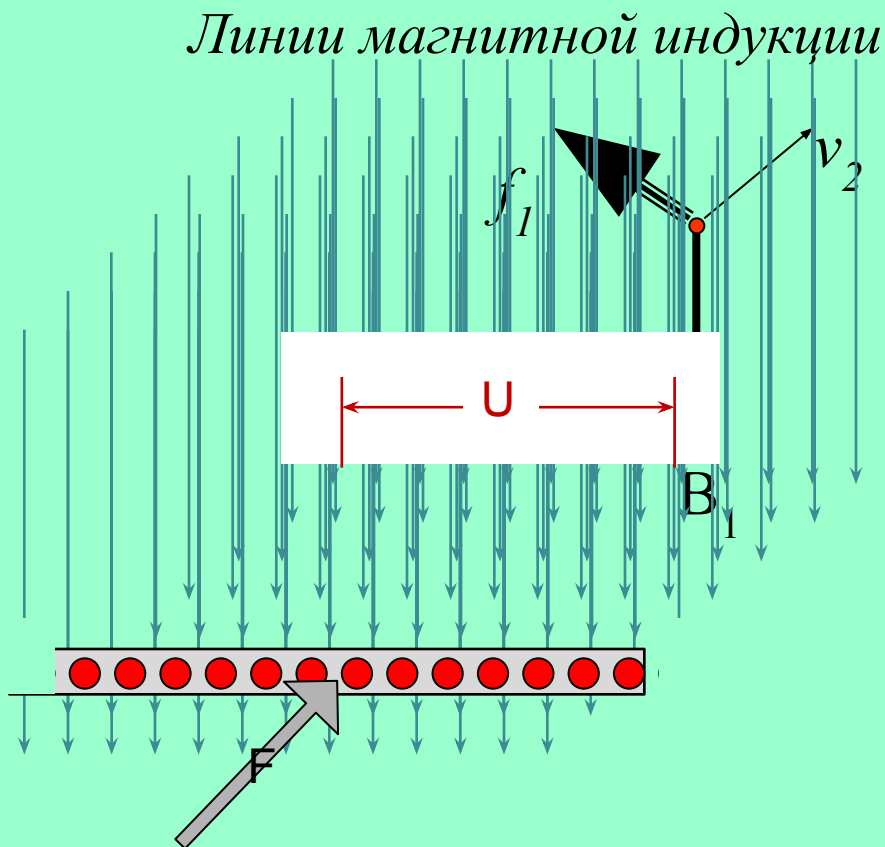
$q_2$

Единица измерения магнитной индукции - **тесла** [Тл]



# МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

*Магнитной индукцией* называется *векторная* величина\*, определяющая силу  $f$ , действующую на единичный заряд  $q$ , и направленную перпендикулярно направлению движения заряда, движущегося с единичной скоростью  $v$ :



$$f_1 = B \cdot q \cdot v$$

$$f_1 = q \cdot E$$

$$\cancel{B \cdot q \cdot v} = \cancel{q \cdot E}$$

$$B \cdot v \cdot l_{ab} = E \cdot l_{ab}$$

$$E \cdot l_{ab} = U_{ab}$$

$$U_{ab} = v \cdot B \cdot l$$

*ав*

\* Направление вектора определяется по правилу буравчика

# МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

*Магнитный поток (поток вектора магнитной индукции) – ПОТОК  $\Phi$  вектора магнитной индукции  $B$  через какую-либо поверхность*

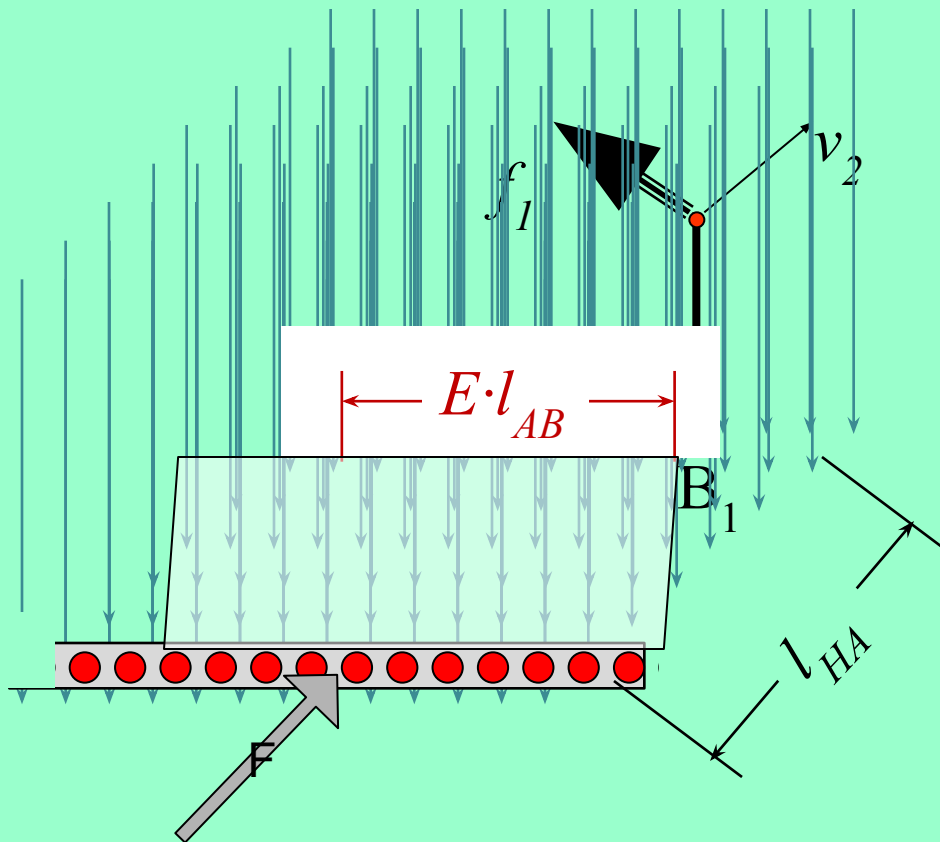
$$B \cdot v = E$$

$$B \frac{l_{HA}}{\tau} = E$$

$$B \frac{l_{HA} \cdot l_{AB}}{\tau} = E \cdot l_{AB}$$

$$B \cdot S = U \cdot \tau$$

$$\Phi = U \cdot \tau$$



Единица измерения магнитного потока - *вебер* [Вб]

# МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Магнитный поток

$$\int_S B_n dS = \Phi$$

Тл·м<sup>2</sup> ⇒ вебер (Вб)

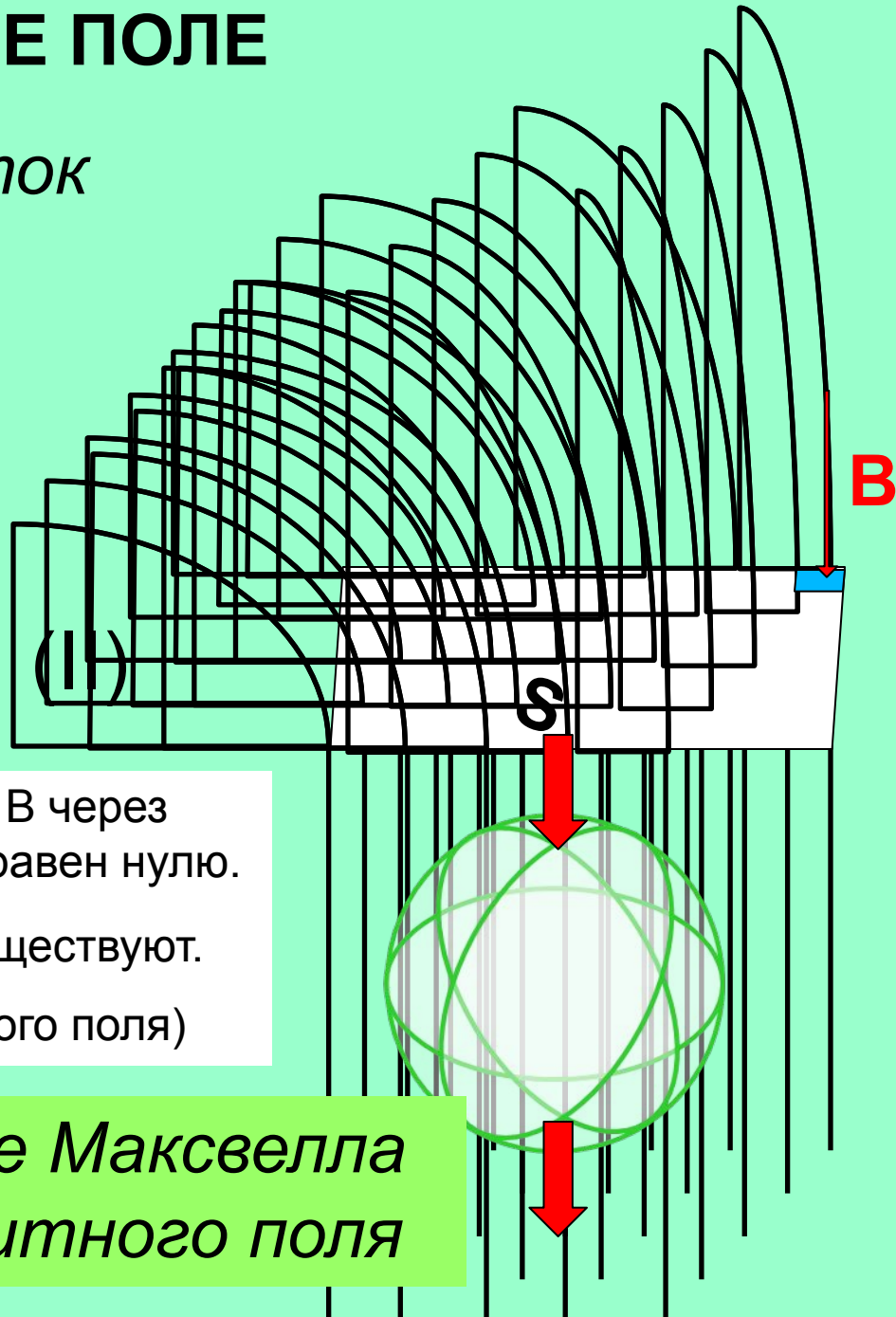
$$\int_{S_{\text{зам}}} B_n dS_{\text{зам}} = 0 \quad (1)$$

Поток магнитной индукции  $B$  через замкнутую поверхность  $S$  равен нулю.

= Магнитные заряды не существуют.

(Закон Гаусса для магнитного поля)

Это 2-е уравнение Максвелла для электромагнитного поля



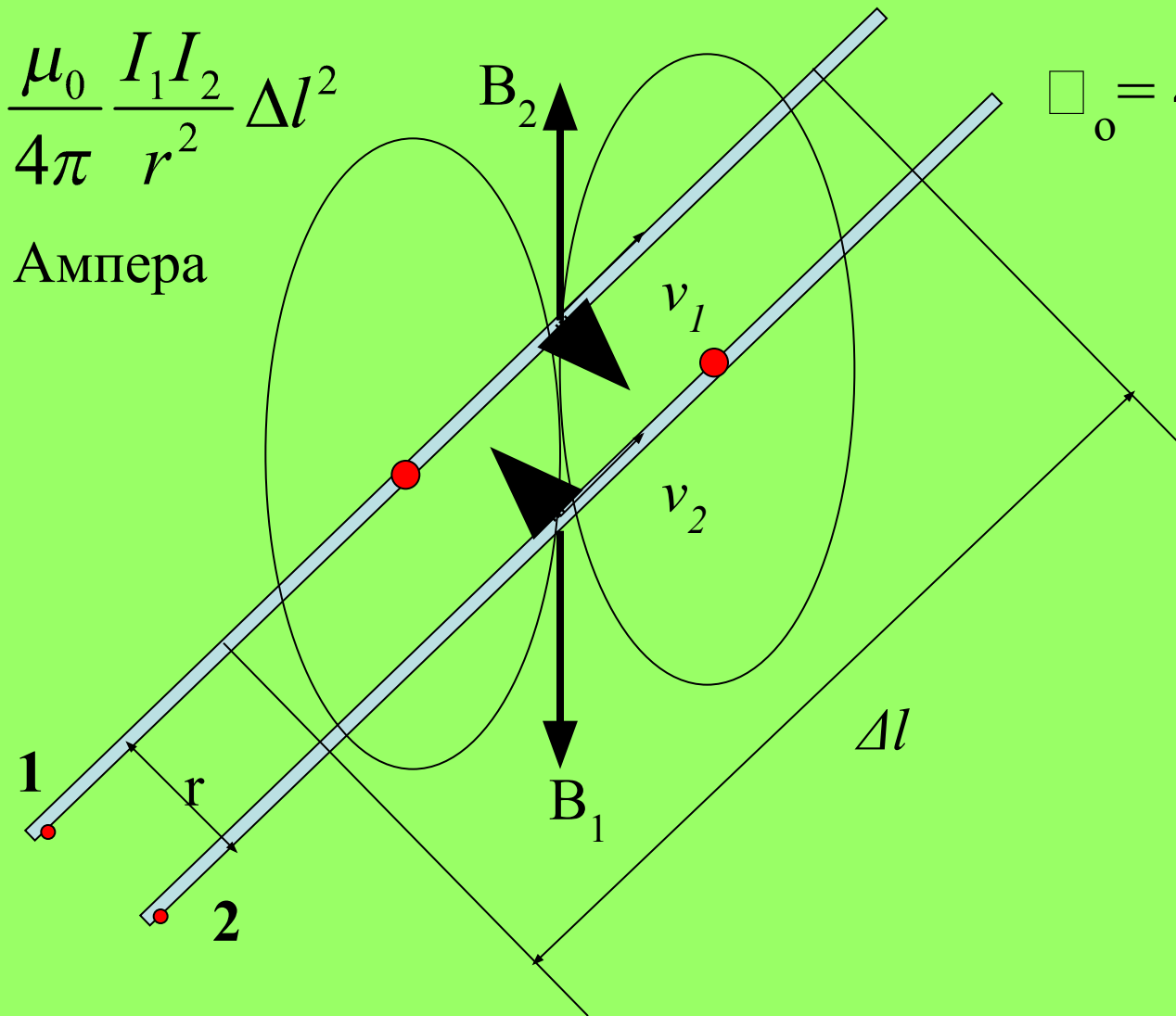
# Электромагнитное поле.

## Магнитное поле

$$\Delta F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 I_2}{r^2} \Delta l^2$$


Закон Ампера

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$



# Другая форма закона Ампера

$$\Delta F = \mu_0 \frac{I_1 \Delta l_1}{4\pi r^2} I_2 \Delta l_2 \quad I_2 \Delta l_2 = \frac{q \cdot \Delta l_2}{\tau}$$



***B***

$$F_l = B \cdot I \cdot l$$

*Закон Ампера*



### 3. Напряжённость магнитного поля - $H$

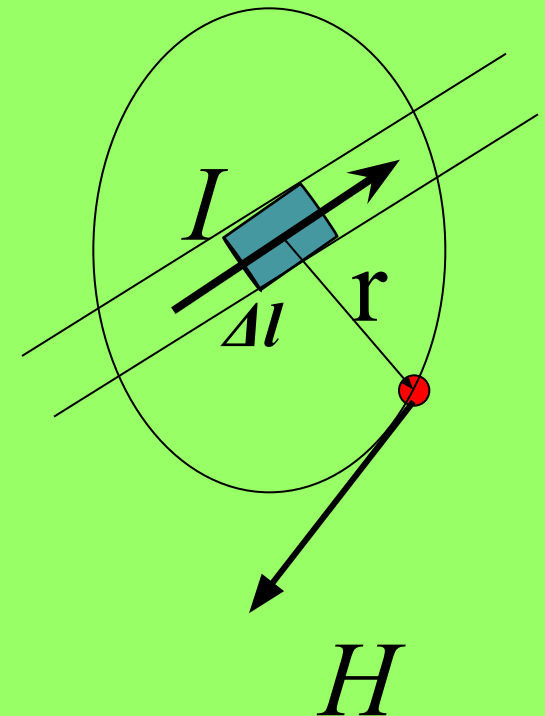
#### Закон Био-Савара-Лапласа:

Напряжённостью магнитного поля  $H$  называется векторная величина, пропорциональная силе тока  $I$ , протекающего по элементарному отрезку проводника длиной  $\Delta l$ , длине этого отрезка и обратно пропорциональная квадрату расстояния  $r$  до рассматриваемой точки поля.

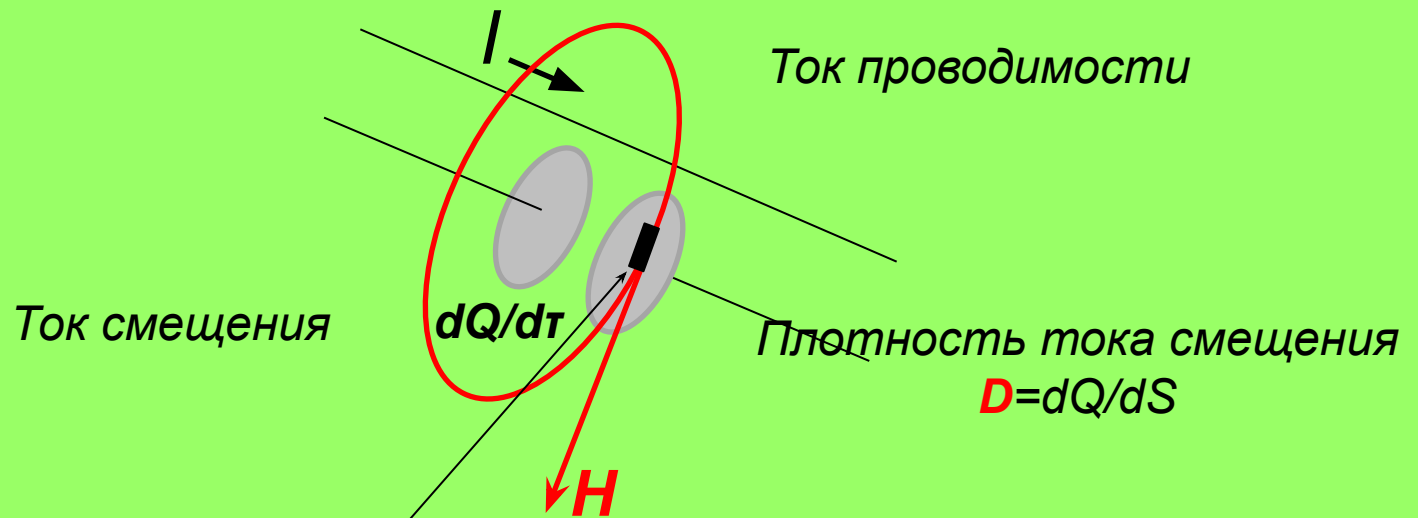
$$H = \frac{\Delta l}{4\pi r^2} I$$

$$B = \mu_0 \frac{I_1 \Delta l_1}{4\pi r^2}$$

$$B = \mu_0 H$$



# Теорема о циркуляции магнитного поля



$$\oint_l \mathbf{H} \partial l = I + \frac{\partial}{\partial \tau} \int_S \mathbf{D} \partial S \quad (\text{IV})$$

Сумма тока проводимости  $I$  и тока смещения  $dQ/d\tau$  через незамкнутую поверхность  $S$  равна циркуляции напряжённости магнитного поля на замкнутом контуре длиной  $l$ , который является границей поверхности  $S$ . (четвёртое уравнение Максвелла).

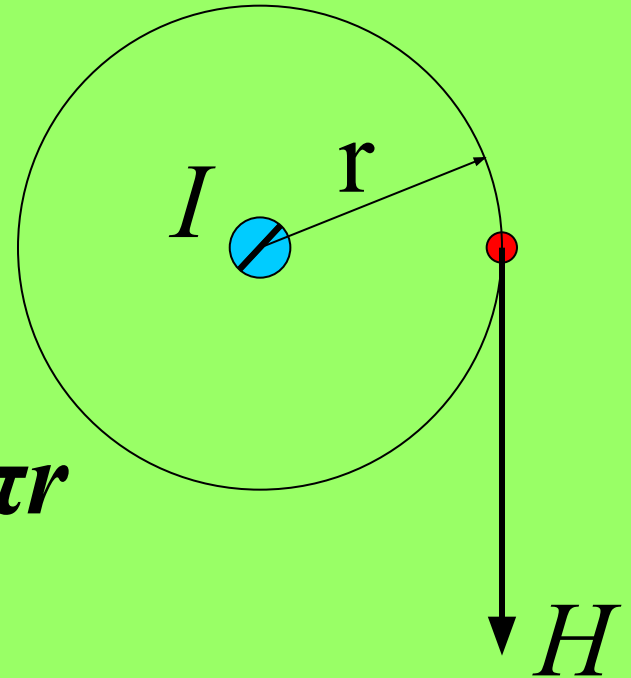
# Основные характеристики магнитного поля

А) Магнитная индукция – плотность магнитного потока

$$B = \frac{d\Phi}{dS}; \left[ \text{тесла} = \frac{\text{вебер}}{\text{метр}^2} \right]; \left[ Tл = \frac{Вб}{м^2} \right]$$

Б) Напряжённость магнитного поля

$$H = \frac{B}{\mu_0}; \left[ \frac{\text{ампер}}{\text{метр}} \right]; \frac{А}{м}$$



Для длинного проводника с током:  $H = I / 2\pi r$

$$B = \mu_0 H$$

## Основные характеристики магнитного поля

**Кинетическая энергия поля:**

$$W^k \text{ [Дж]} = U \text{ [Дж/Кл]} \cdot I \text{ [А]} \cdot \tau \text{ [с]}$$

**Удельная кинетическая энергия поля:**

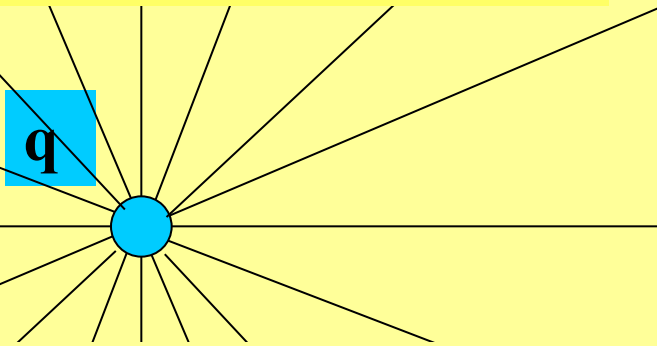
$$\frac{W^k}{V} = \frac{U \cdot \tau \cdot I}{S \cdot l} = B \cdot H \quad \frac{B \cdot c}{m^2} \cdot \frac{A}{m} = \frac{\text{Дж}}{m^3}$$

**В магнитном поле:**

$$W_{уд}^k = H \cdot B \text{ [Дж/м}^3\text{]}$$

# Сравнение электрического и магнитного полей

## Силовые линии поля

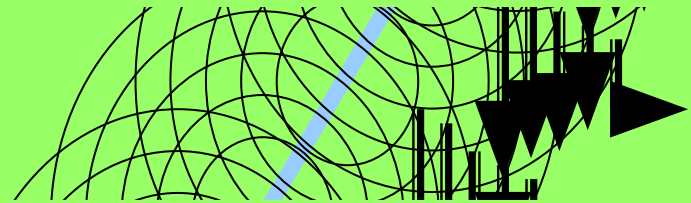


Электрическое поле создаётся скалярной величиной – электрическим зарядом.

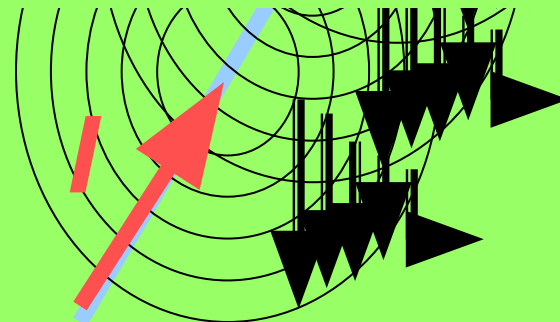
Электрическое поле относится к потенциальным полям. Главными характеристиками поля являются потенциал  $\varphi$  и напряжённость  $E$  поля в каждой точке

Магнитное поле создаётся движущимся зарядом (электрическим током), определяемым вектором скорости.

Магнитное поле – это векторное поле. Главной его характеристикой в каждой точке является вектор магнитной индукции  $B$



## Линии магнитной индукции



# Сравнение электрического и магнитного полей

Плотность потока электрического смещения –  $D$  [Кл/м<sup>2</sup>]

Плотность магнитного потока, магнитная индукция –  $B$  [Вб/м<sup>2</sup>]

Напряжённость электрического поля –  $E$  [В/м]

Напряжённость магнитного поля –  $H$  [А/м]

Потенциальная энергия поля

Кинетическая энергия поля

$$E \cdot D$$

$$H \cdot B$$

Электрическая постоянная –  $\epsilon_0$  [Ф/м]

Магнитная постоянная –  $\mu_0$  [Гн/м]

$$D = \epsilon_0 E$$

$$B = \mu_0 H$$

Силовые характеристики поля

Источники поля



***Лекция окончена.***

***Прошу задавать вопросы.***

***Можно в письменном виде.***

ПС 500 кВ Означенное, ОРУ 220 кВ