

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

A photograph of a power plant or substation. In the foreground, a long, straight row of light-colored, rectangular industrial cabinets or transformers sits on a concrete base. Each cabinet has a large, dark, cylindrical insulator protruding from its top. The cabinets recede into the distance, creating a strong sense of perspective. In the background, there are complex metal structures, including towers and cross-arms, with numerous power lines stretching across the sky. The sky is a clear, pale blue. The overall scene is industrial and technical.

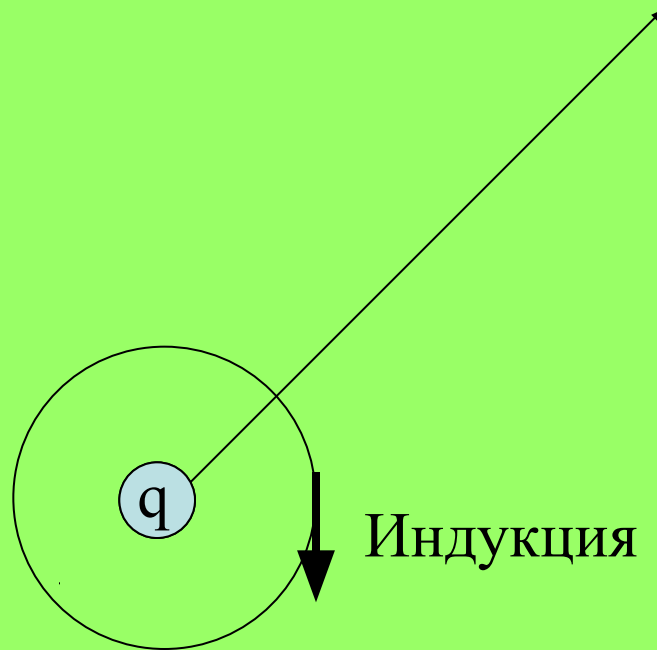
проф. Целебровский Юрий Викторович

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)

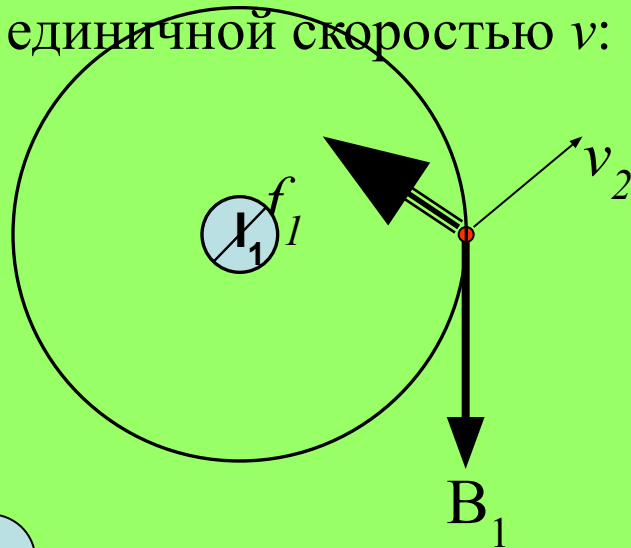
электромагнитное поле.

Магнитное поле

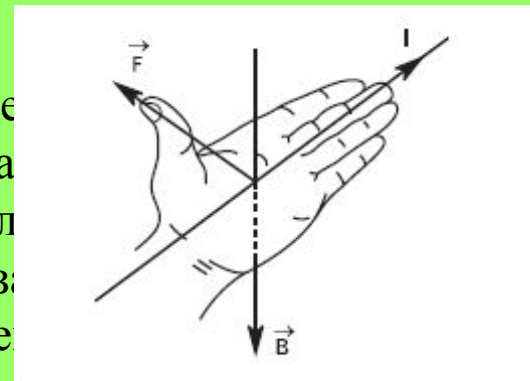
Основной физической величиной, характеризующей магнитное поле в каждой его точке, является магнитная индукция.

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

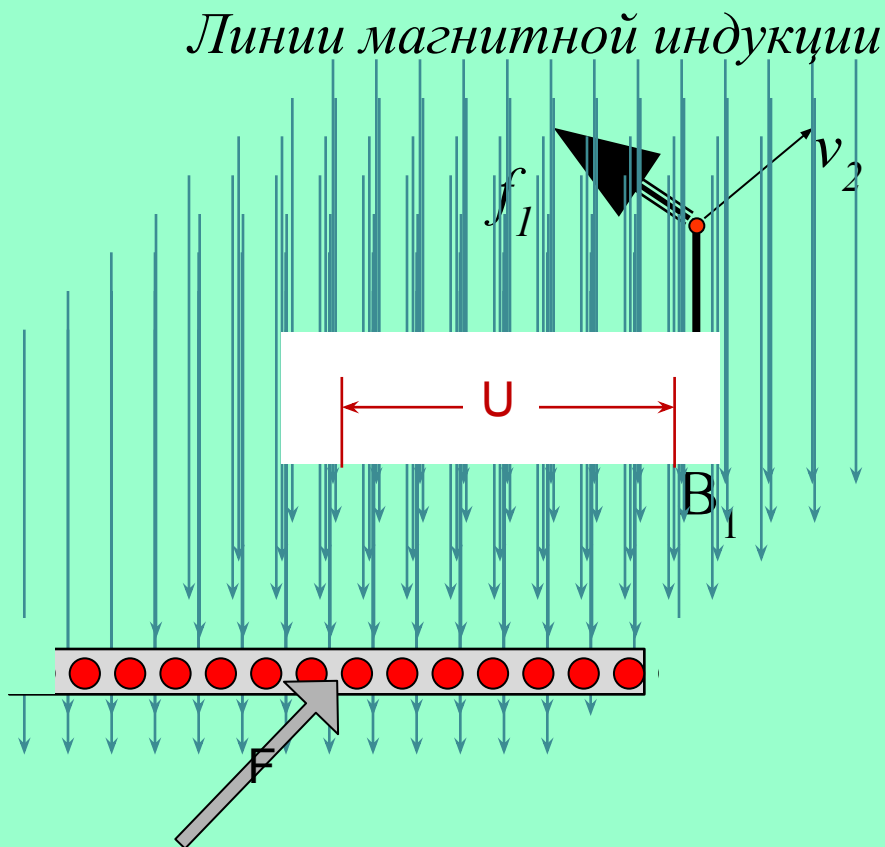
(правило левой руки)

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 Φ вектора магнитной индукции B через какую-либо поверхность

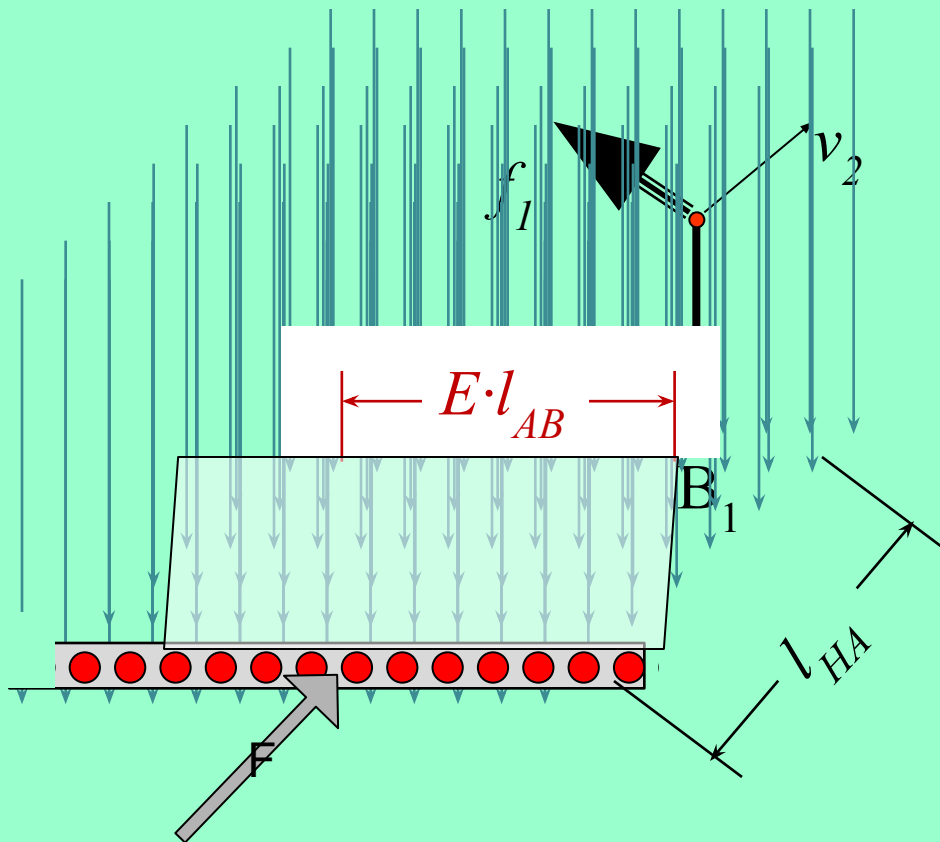
$$B \cdot v = E$$

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

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

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

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



Единица измерения магнитного потока - *вебер* [Вб]

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Магнитный поток

$$\int_S B_n dS = \Phi$$

Тл·м² ⇒ вебер (Вб)

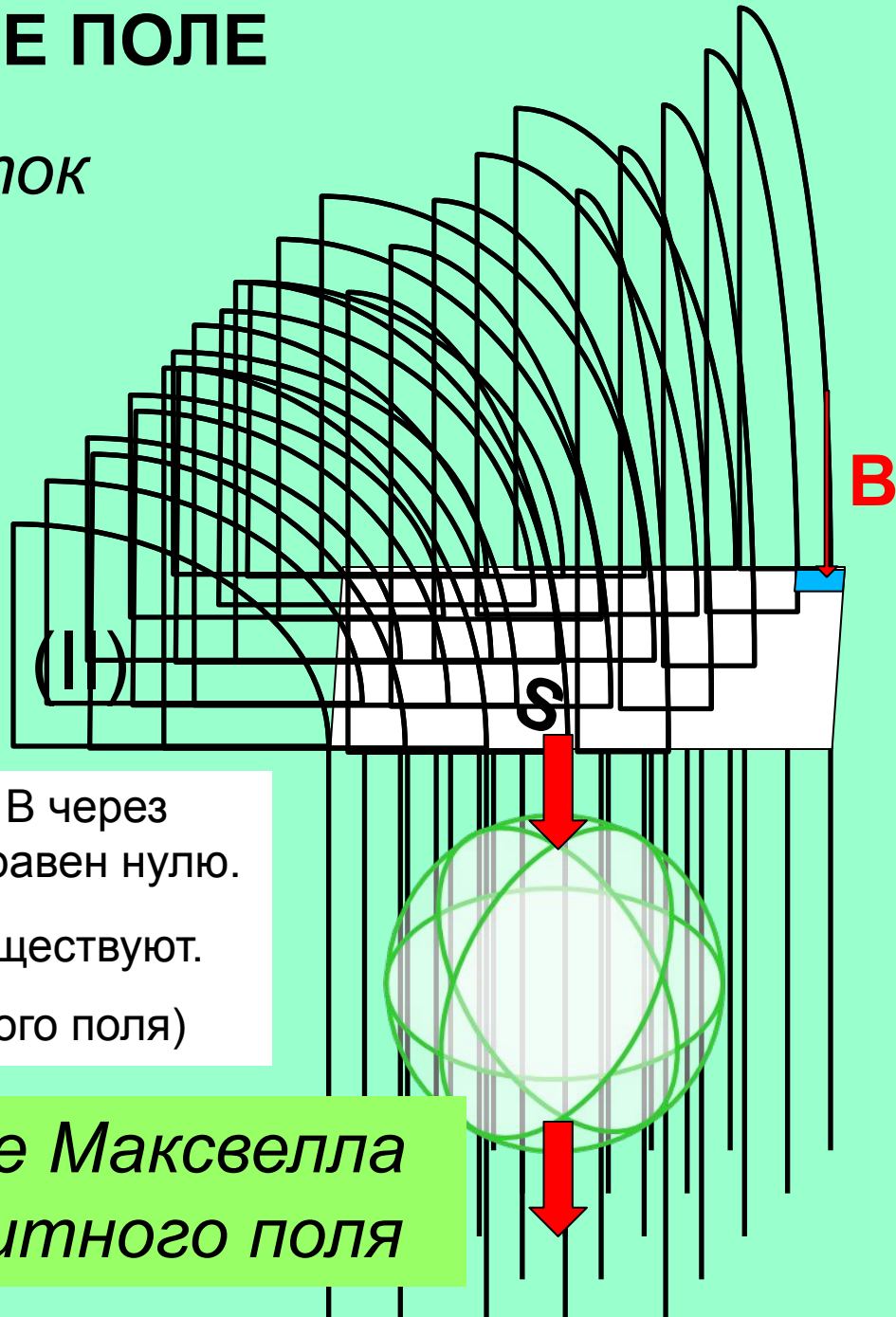
$$\int_{S_{\text{зам}}} B_n dS_{\text{зам}} = 0 \quad (1)$$

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



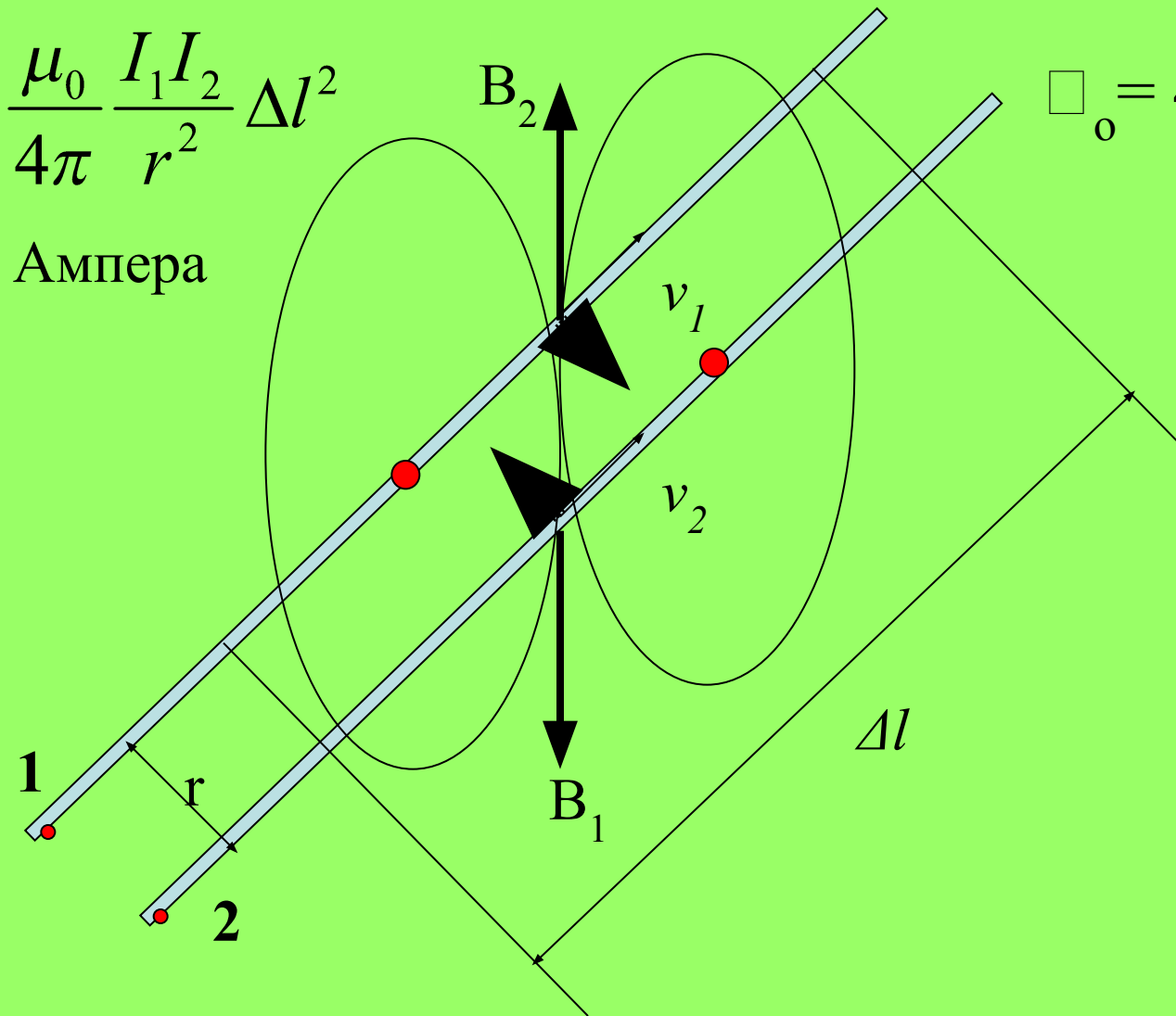
электромагнитное поле.

Магнитное поле

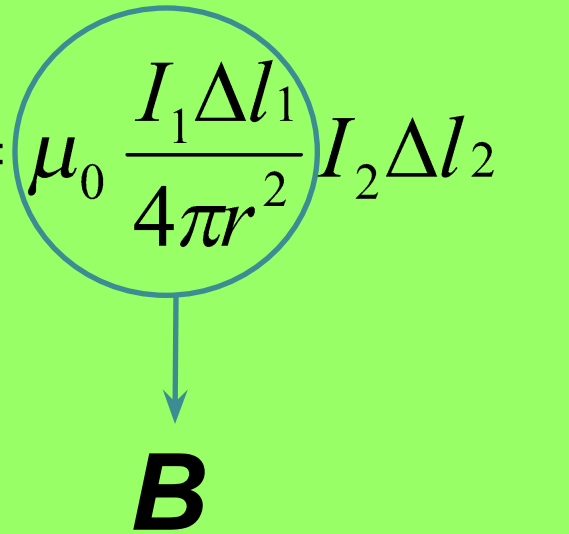
$$\Delta F = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I_1 I_2}{r^2} \Delta l^2$$

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

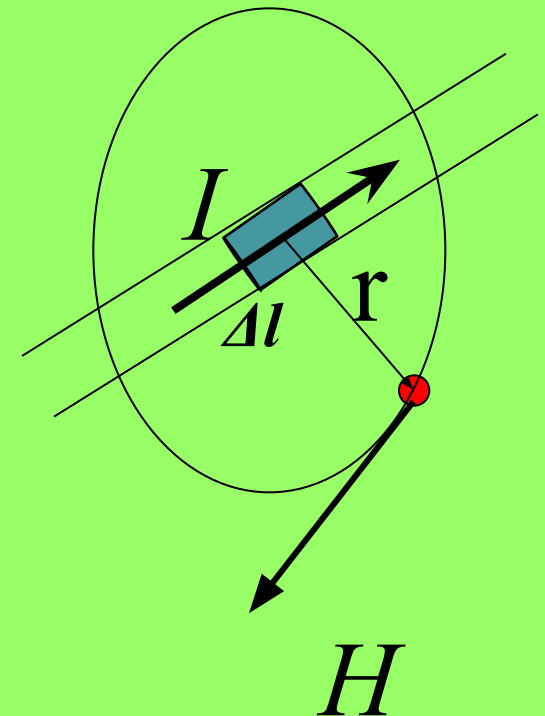
Закон Био-Савара-Лапласа:

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

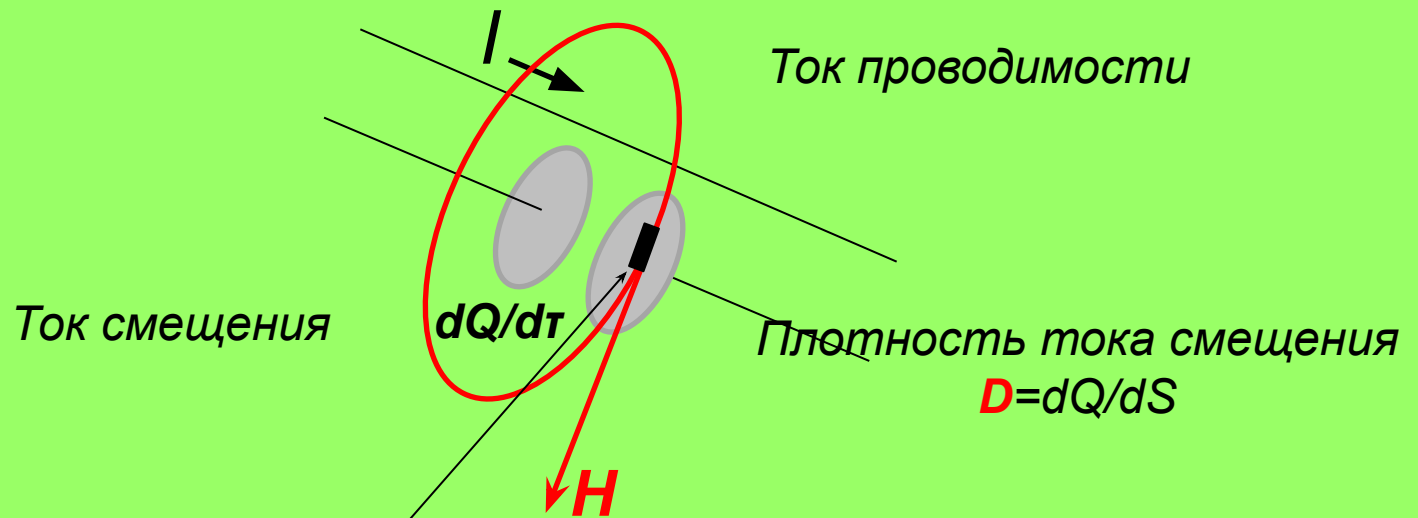
$$H = \frac{\Delta l}{4\pi r^2} I$$

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

$$B = \mu_0 H$$



Теорема о циркуляции магнитного поля



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

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).

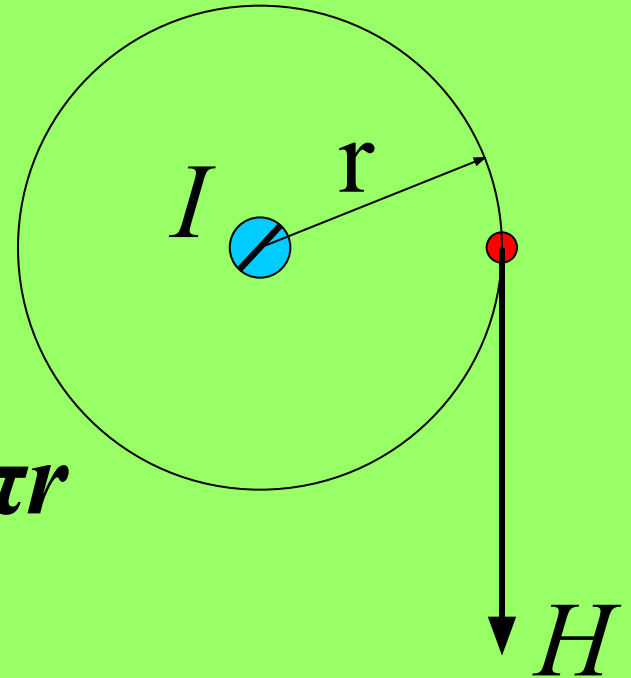
Основные характеристики магнитного поля

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:

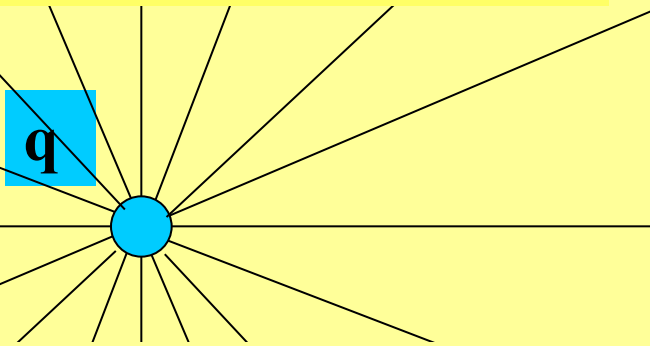
$$\frac{W^k}{V} = \frac{U \cdot \tau \cdot I}{S \cdot l} = B \cdot H \quad \frac{B \cdot c}{m^2} \cdot \frac{A}{m} = \frac{\text{Дж}}{m^3}$$

В магнитном поле:

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

Сравнение электрического и магнитного полей

Силовые линии поля

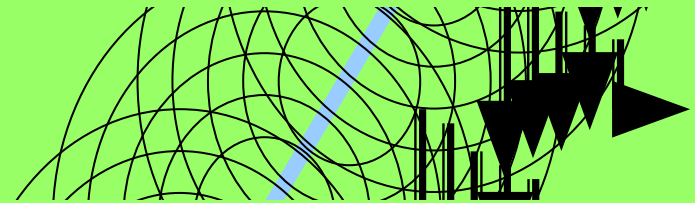


Электрическое поле создаётся скалярной величиной – электрическим зарядом.

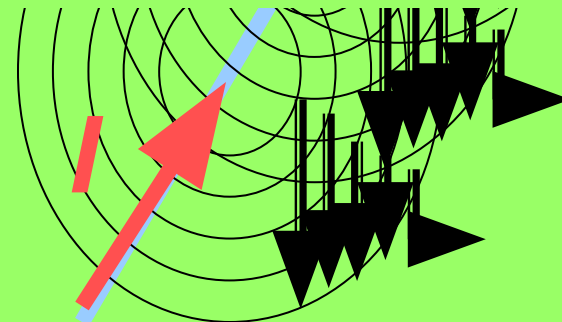
Электрическое поле относится к потенциальным полям. Главными характеристиками поля являются потенциал φ и напряжённость E поля в каждой точке

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/м²]

Плотность магнитного потока, магнитная индукция – B [Вб/м²]

Напряжённость электрического поля – E [В/м]

Напряжённость магнитного поля – H [А/м]

Потенциальная энергия поля

Кинетическая энергия поля

$$\mathbf{E} \cdot \mathbf{D}$$

$$\mathbf{H} \cdot \mathbf{B}$$

Электрическая постоянная – ϵ_0 [Ф/м]

Магнитная постоянная – μ_0 [Гн/м]

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$$

Силовые характеристики поля

Источники поля

Лекция окончена.

Прошу задавать вопросы.

Можно в письменном виде.

ПС 500 кВ Означенное, ОРУ 220 кВ