

**Сегодня: среда, 13
декабря 2023 г.**

Общая физика. Часть 2

Семинар 10

СИЛА АМПЕРА. СИЛА ЛОРЕНЦА. ЗАКОН ПОЛНОГО ТОКА.

Теоретический материал

Сила Ампера:

$$d\vec{F} = I_2 [d\vec{l}, \vec{B}]$$

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

Сила взаимодействия двух прямых бесконечных проводников с токами I_1 и I_2 , находящихся на расстоянии R друг от друга, приходящаяся на элемент длины dl

$$d\vec{F} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I_1I_2}{R} dl$$

Магнитный момент контура с током:

$$\vec{P}_m = I \cdot S \cdot \vec{n}$$

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

$$\vec{M} = \vec{p}_m \cdot \vec{B} \cdot \sin \alpha$$

Механический момент,
действующий на контур
с током

$$d\vec{F}_l = q[\vec{v}, \vec{B}]$$

Сила Лоренца:

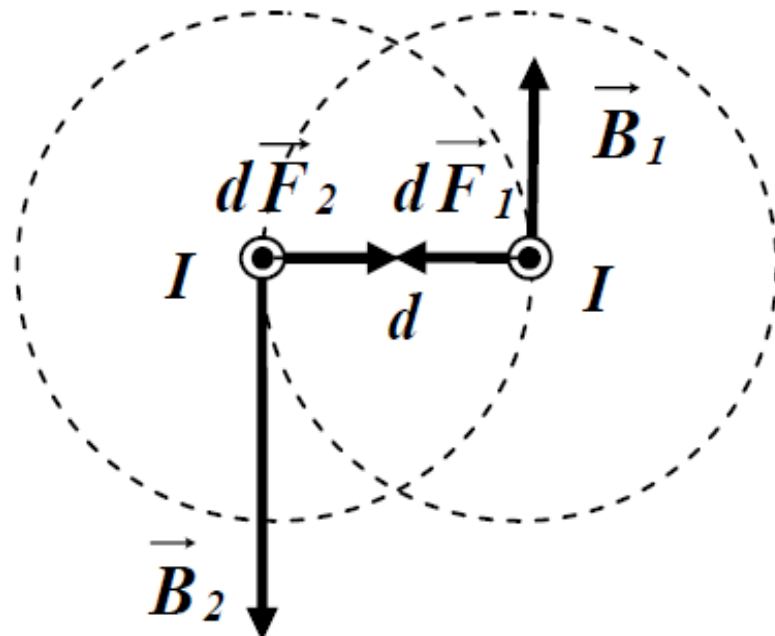
$$dF_l = qv \cdot B \cdot \sin \alpha$$

ЭДС Холла

$$\vec{E}_H = R_H \cdot \frac{IB_n}{d}$$

$$R_H = \frac{1}{ne}$$

Задача 1. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам в вакууме, находящимся на расстоянии $d = 20$ см друг от друга, в одинаковых направлениях текут токи $I_1 = 10$ А и $I_2 = 20$ А. Определите, с какой силой взаимодействуют отрезки этих проводников длиной $l = 1,5$ м.



Дано:

$$d = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$I_1 = 10 \text{ А}, I_2 = 20 \text{ А}$$

$$l = 1,5 \text{ м}, \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м.}$$

Определите:

F - ?

$$dF_1 = I_2 B_1 \cdot dl \cdot \sin \alpha$$

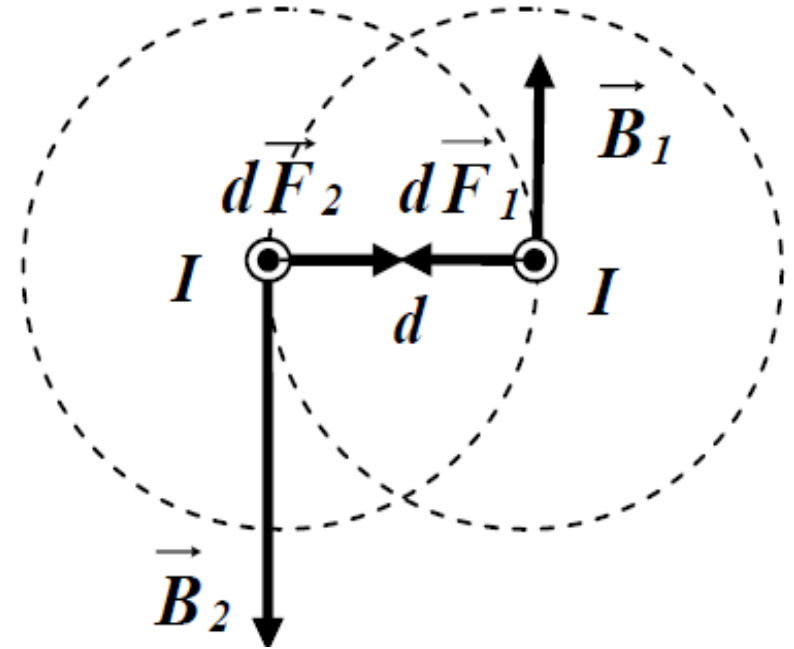
$$dF_2 = I_1 B_2 \cdot dl \cdot \sin \alpha$$

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

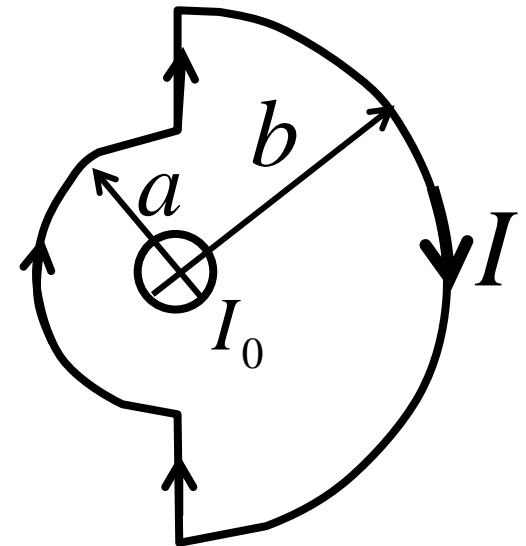
$$B_2 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_2}{d}$$

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \int_0^l dl = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \cdot l$$

$$F = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot 20}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2} \cdot 1,5 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Н}$$



Задача 2. Замкнутый контур с током I , состоящий из двух полуокружностей радиусов a и b , соединённых прямыми участками, находится в поле длинного прямого проводника с током I_0 . Плоскость контура перпендикулярна прямому проводнику, а центры полуокружностей лежат на оси прямого проводника. Найти момент сил Ампера, действующих на замкнутый контур.

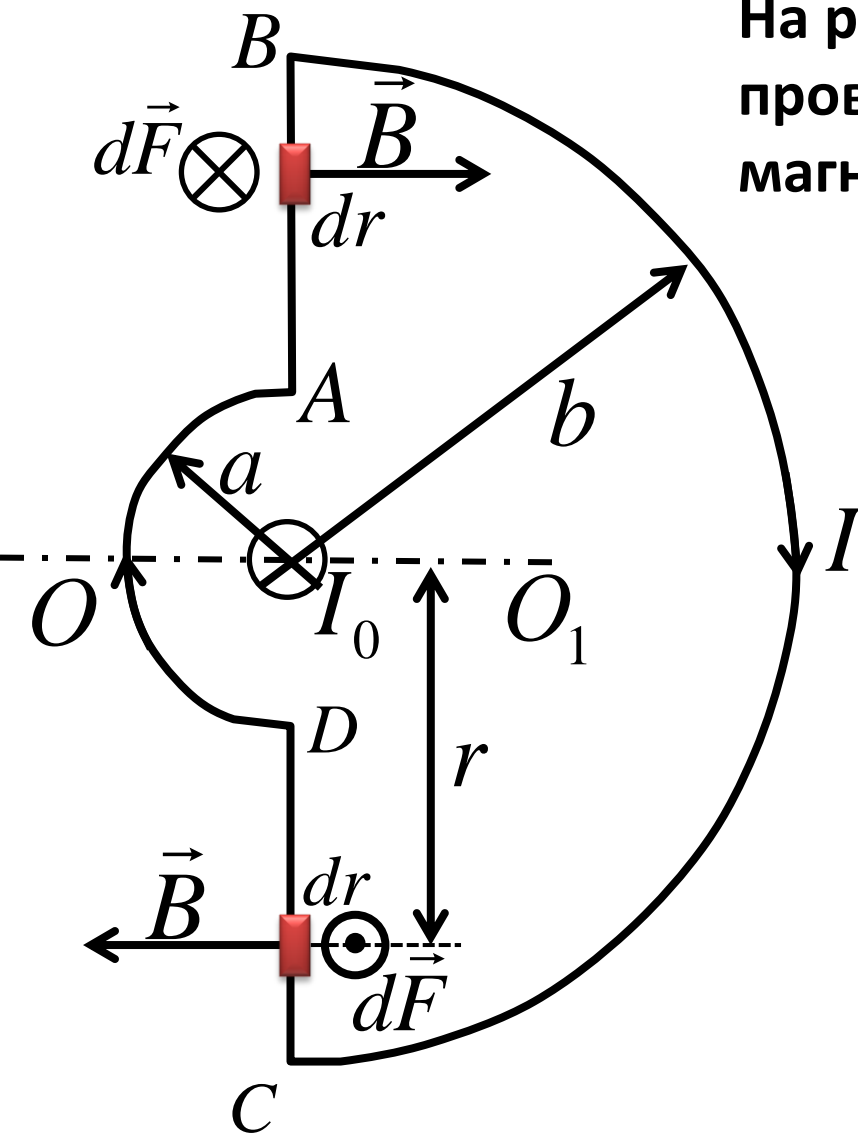


Дано:

a, b, I, I_0 .

Определите:

M -?



На расстоянии x от проводника I_0 величина магнитной индукции поля

$$B = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r}$$

В каждой точке полуокружностей BC и DA векторы $dl \uparrow \uparrow B$, поэтому силы Ампера на эти участки не действуют.

На радиальные участки AB и CD контура со стороны МП проводника I_0 действуют силы Ампера, стремящиеся повернуть контур вокруг OO_1 .

$$dF = IBdr = I \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r} dr$$

Момент этой силы относительно оси OO_1

$$dM = r dF = \frac{\mu_0 I_0 I}{2\pi} dr$$

На участок AB действует вращающий момент

$$M_1 = \int_a^b dM = \frac{\mu_0 I_0 I}{2\pi} (b - a)$$

Задача симметричная, поэтому момент сил, действующий на CD

$$M_1 = \frac{\mu_0 I_0 I}{2\pi} (b - a)$$

Для момента пары сил Ампера, действующих на весь контур

$$M = 2M_1 = \frac{\mu_0 I_0 I}{\pi} (b - a)$$

Ответ:

Задача 3. Определить индукцию B и напряженность H магнитного поля на оси тороида без сердечника, по обмотке которого, содержащей $N = 200$ витков, идет ток $I = 5$ А. Внешний диаметр d_1 тороида равен 30 см, внутренний $d_2 = 20$ см.

Дано:

$$N = 200$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$d_1 = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$$d_2 = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

Определить: B и H

Дано:

$$N = 200$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$d_1 = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$$

$$d_2 = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

Определить: B и H

Вычислим циркуляцию вектора H вдоль линии магнитной индукции поля:

$$\oint_L H dl = H \int_0^{2\pi r} dl = 2\pi r H$$

По закону полного тока:

$$\oint_L H dl = \sum_{i=1}^N I_i$$

$$\oint_L H dl = H \int_0^{2\pi r} dl = 2\pi r H = \sum_{i=1}^N I_i = NI$$

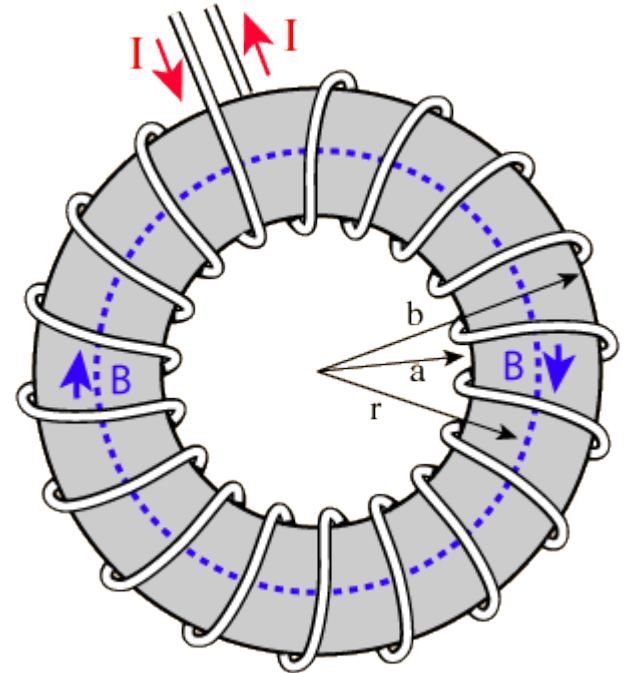
$$H = \frac{NI}{2\pi r}$$

Для средней линии тороида:

$$r = \frac{1}{2} R_1 R_2 = \frac{1}{4} (d_1 + d_2)$$

$$H = \frac{2NI}{\pi(d_1 + d_2)}$$

$$H = \frac{2 \cdot 200 \cdot 5}{\pi(0,3 + 0,2)} = 1273 \text{ A/м} = 1,27 \text{ кA/м}$$



Магнитная индукция B_0 в вакууме связана с напряженностью поля

$$B_0 = \mu_0 H$$

$$B = \frac{2\mu_0 NI}{\pi(d_1 + d_2)}$$

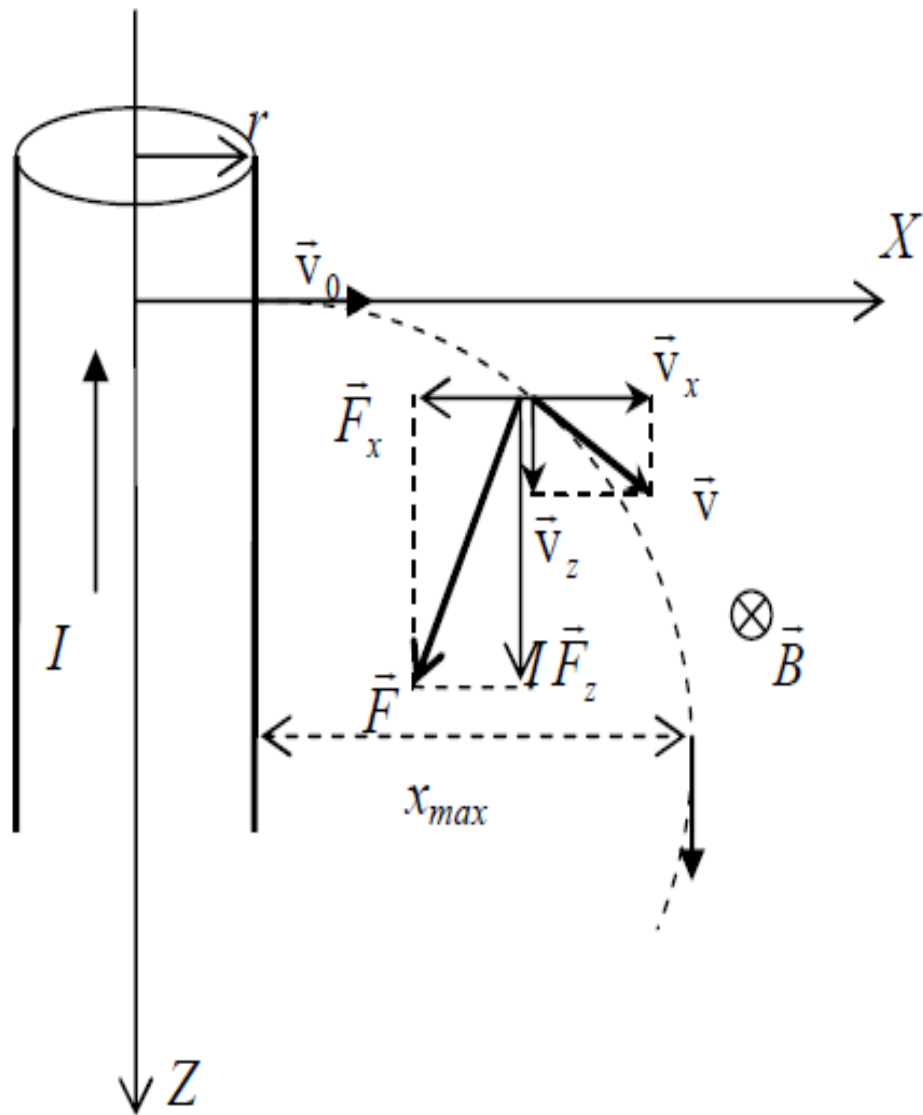
$$B = \frac{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 200 \cdot 5}{\pi(0,3 + 0,2)} = 0,0016 \text{ Тл} = 1,6 \text{ мТл}$$

Задача 4. С поверхности цилиндрического провода радиуса r , по которому течет ток I , вылетает электрон с начальной скоростью v_0 перпендикулярной к поверхности провода. На какое максимальное расстояние удалится электрон от оси провода?

Дано:

r, I, v_0

Найти: x_{max}



Дано:

r, l, v_0

Найти: x_{max}

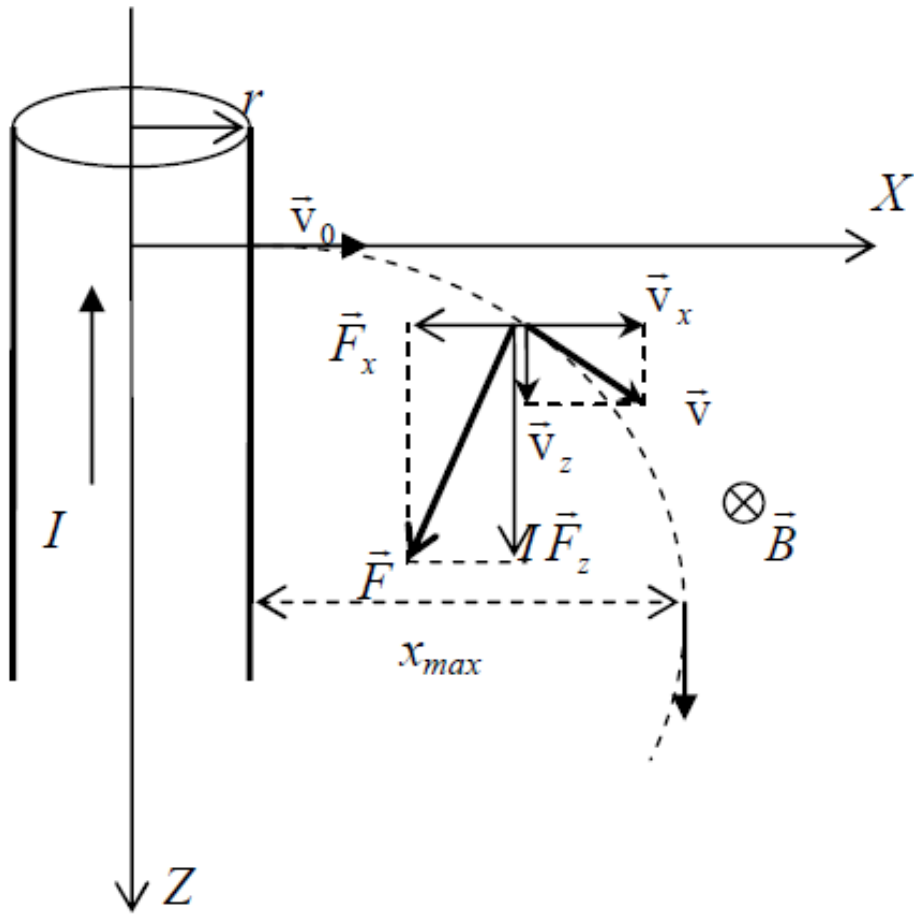
$$d\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}]$$

$$B = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi x}$$

Поскольку сила Лоренца перпендикулярна скорости, то она не совершает работы, не меняет кинетическую энергию частицы, следовательно, величина скорости остается постоянной:

$$|v| = v_0 = const$$

В точке максимального удаления от провода скорость параллельна проводу и равна v_0 .



Разложим вектор скорости на две составляющие:

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_z$$

Тогда силу Лоренца можно представить в виде двух компонент:

$$\vec{F} = e[\vec{v}, \vec{B}] = e[(\vec{v}_x + \vec{v}_z), \vec{B}] = e[\vec{v}_x, \vec{B}] + e[\vec{v}_z, \vec{B}] = \vec{F}_z + \vec{F}_x$$

направлена параллельно проводу перепендикулярно проводу

Уравнение движения электрона в проекции на ось z:

$$ma_z = m \frac{dv_z}{dt} = F_z = \left\{ \vec{v}_x \perp \vec{B} \right\} = e v_x B$$

$$m \frac{dv_z}{dt} = e \frac{dx}{dt} B$$

$$m \int_0^{v_0} dv_z = e \frac{\mu_0 I}{2\pi} \int_r^{x_{\max}} \frac{dx}{x}$$

$$m dv_z = e dx B$$

$$m v_0 = e \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{x_{\max}}{r}$$

$$m dv_z = e \frac{\mu_0 I}{2\pi x} dx$$

$$m v_0 = e \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{x_{\max}}{r} x_{\max} = r \exp\left(\frac{2\pi m v_0}{e \mu_0 I}\right)$$