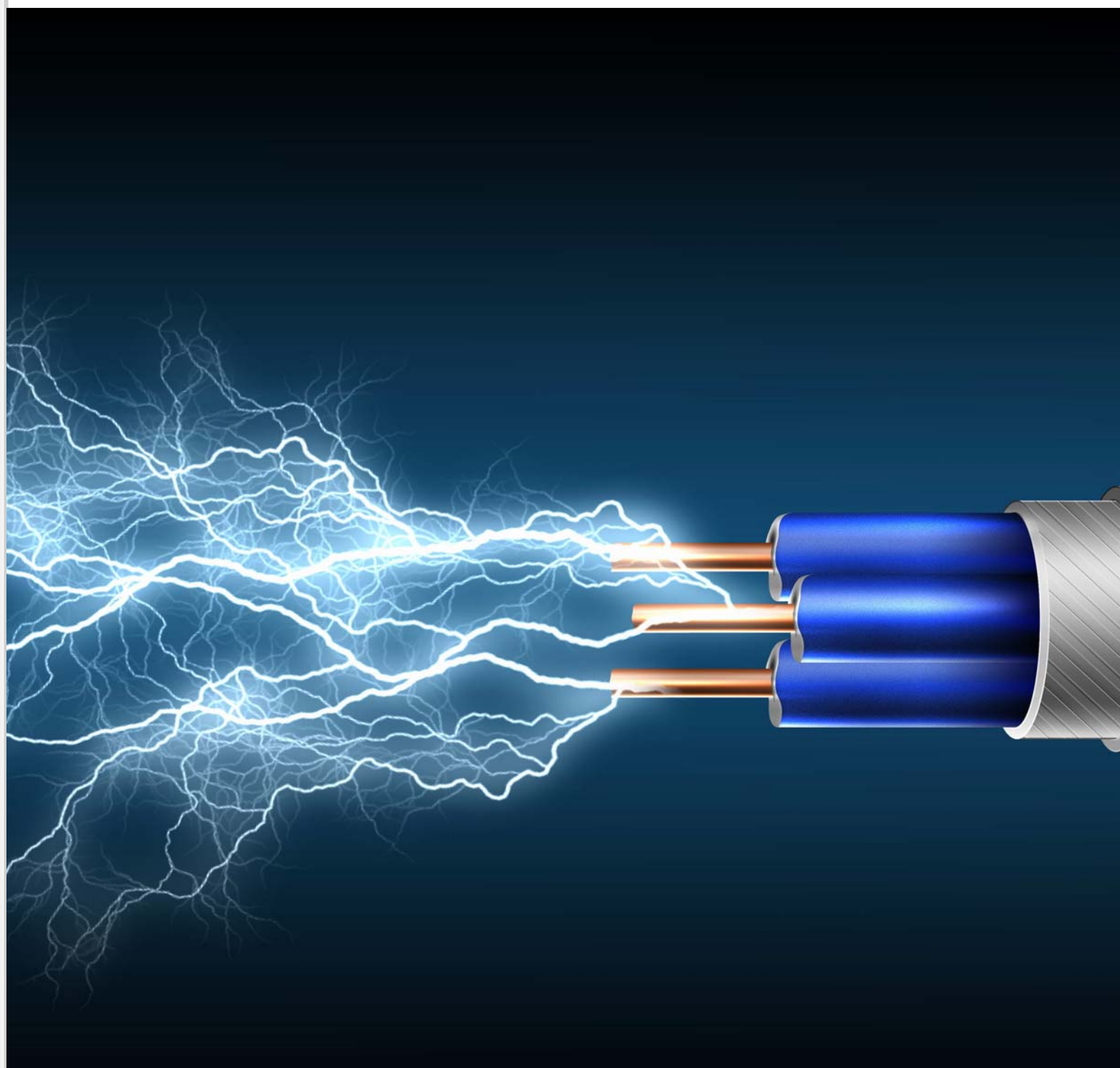


Виртуальный курс физики

Электричество и магнетизм

Магнитное поле. Электромагнитная
индукция. Задачи с решениями



***Курс дистанционного обучения по физике
изложен в авторской редакции доцента
Петербургского государственного университе-
та путей сообщения Императора Александра I
Кытина Юрия Александровича***

Электричество и магнетизм

Магнитное поле. Электромагнитная индукция

Задачи с решениями

Задача 1. На рельсах, расположенных на расстоянии 0,5 м друг от друга, перпендикулярно им размещен проводящий стержень массой 1 кг. Рельсы и стержень находятся в магнитном поле, силовые линии которого направлены вертикально, магнитная индукция при этом равна 0,5 Тл. При пропускании по стержню тока 2 А он движется по рельсам с ускорением 0,1 м/с². Определить коэффициент трения между стержнем и рельсами.

Дано:
 $l = 0,5$ м, $m = 1$ кг,
 $B = 0,5$ Тл,
 $I = 2$ А, $a = 0,1$ м/с²
 $\mu = ?$

Решение. На стержень действуют силы Ампера, трения, тяжести и реакции опоры (рис. 11.10). Согласно второму закону Ньютона

$$\mathbf{F}_A + \mathbf{F}_{\text{тр}} + m\mathbf{g} + \mathbf{N} = m\mathbf{a}.$$

Выберем направления координатных осей и запишем уравнение в проекциях на оси OX и OY :

$$F_A - F_{\text{тр}} = ma,$$

$$N - mg = 0.$$

Сила трения

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu mg.$$

Следовательно,

$$F_A - \mu mg = ma.$$

Сила Ампера

$$F_A = IB\Delta l \sin \alpha.$$

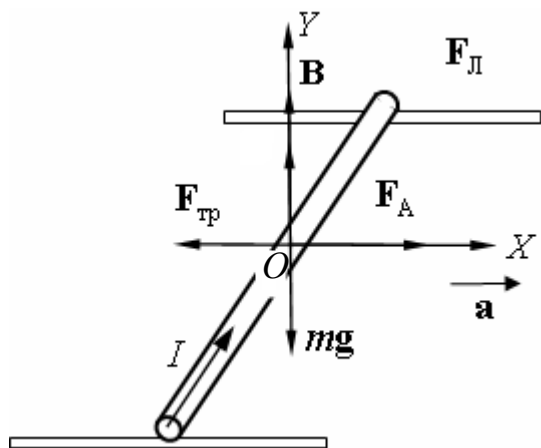


Рис. 11.10

Так как в данной задаче $\alpha = 90^\circ$, имеем

$$IBl - \mu mg = ma.$$

Отсюда следует, что

$$\mu = \frac{IBl - ma}{mg} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 - 1 \cdot 0,1}{1 \cdot 9,8} = 0,04.$$

Ответ: $\mu = 0,04$.

З а д а ч а 2. Проводник длиной 20 см и массой 5 г подвешен горизонтально на двух нитях в однородном магнитном поле (направление вектора магнитной индукции приведено на рис. 11.11). Какой силы ток необходимо пропустить по проводнику, чтобы нити разорвались, если каждая из них выдерживает нагрузку до 0,04 Н? Индукция магнитного поля равна 0,5 Тл.

<p>Дано:</p> <p>$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м},$</p> <p>$m = 5 \text{ г} = 0,005 \text{ кг},$</p> <p>$T = 0,04 \text{ Н}, B = 0,5 \text{ Тл}$</p> <hr/> <p>$I = ?$</p>	<p><i>Решение.</i> Для того чтобы нити разорвались, сила Ампера должна быть направлена вниз. В соответствии с правилом левой руки ток направлен так, как показано на рис. 11.11. Проводник с током находится в равновесии, и поэтому</p>
--	--

$$mg + F_A + T + T = 0.$$

В проекциях на вертикальную ось OY условие равновесия записывают так:

$$F_A + mg = 2T.$$

Подставляя выражение для силы Ампера и учитывая, что угол между направлением тока и вектора магнитной индукции равен 90° , окончательно получаем

$$I = \frac{2T - mg}{Bl} = \frac{2 \cdot 0,04 - 0,005 \cdot 9,8}{0,5 \cdot 0,2} = 0,3 \text{ А}.$$

Ответ: $I \geq 0,3 \text{ А}.$

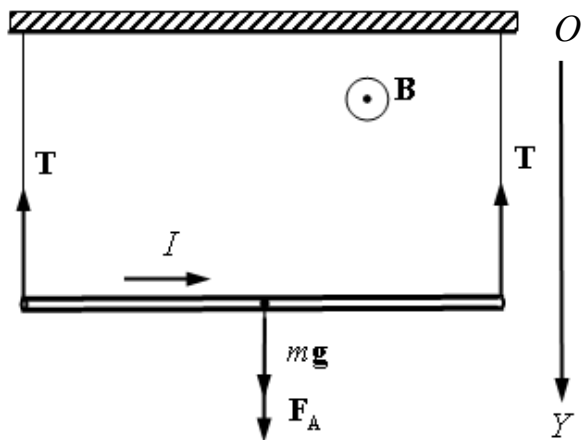


Рис. 11.11

З а д а ч а 3. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 1000 В, влетает в однородное магнитное поле с индукцией 10^{-2} Тл перпендикулярно силовым линиям. Определить радиус окружности, описываемой электроном.

$$\begin{array}{l} \text{Дано:} \\ U = 1000 \text{ В, } B = 10^{-2} \text{ Тл} \\ \hline R = ? \end{array}$$

Решение. Пройдя ускоряющую разность потенциалов, электрон приобретает кинетическую энергию, равную работе сил электростатического поля:

$$\frac{mv^2}{2} = eU.$$

Из этого уравнения определяем скорость, с которой электрон влетает в магнитное поле:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}.$$

В магнитном поле на движущуюся заряженную частицу действует сила Лоренца F_L . Так как сила Лоренца всегда перпендикулярна скорости заряженной частицы, а вектор скорости в данной задаче перпендикулярен вектору магнитной индукции, электрон будет двигаться по окружности (рис.11.12).

Согласно второму закону Ньютона для материальной точки или частицы, движущейся по окружности,

$$F = ma_{ц.с},$$

где $F = F_L = evB$; $a_{ц.с} = \frac{v^2}{R}$ – центростремительное ускорение, с которым заряженная частица вращается по окружности.

Таким образом,

$$evB = m \frac{v^2}{R}.$$

Отсюда следует, что

$$R = \frac{mv}{eB}.$$

Подставив найденное выражение для скорости электрона, получим

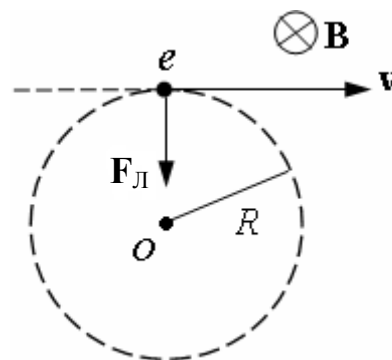


Рис. 11.12

$$R = \frac{m}{eB} \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}} = \frac{1}{10^{-2}} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^3}{1,6 \cdot 10^{-19}}} = 0,01 \text{ м.}$$

Ответ: $R = 0,01 \text{ м.}$

З а д а ч а 4. Электрон влетает в однородное магнитное поле со скоростью 10^6 м/с под углом 30° к вектору магнитной индукции (рис.11.13). Найти радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон, если индукция магнитного поля равна 10^{-3} Тл .

<p>Дано:</p> <p>$v = 10^6 \text{ м/с}, \alpha = 30^\circ,$</p> <p>$B = 10^{-3} \text{ Тл}$</p> <hr/> <p>$R = ? \quad h = ?$</p>
--

Решение. Разложим вектор скорости на две составляющие: одна вдоль вектора $\mathbf{B} - \mathbf{v}_{\parallel}$, другая – перпендикулярно вектору $\mathbf{B} - \mathbf{v}_{\perp}$ (рис.11.13).

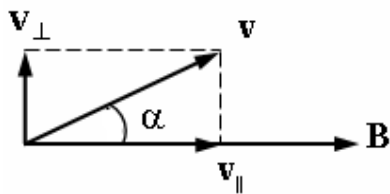


Рис. 11.13

Электрон движется равномерно вдоль силовых линий магнитного поля со скоростью \mathbf{v}_{\parallel} , так как угол между \mathbf{v}_{\parallel} и \mathbf{B} равен нулю и магнитное поле на эту составляющую скорости не действует.

Одновременно электрон будет двигаться равномерно по окружности со скоростью \mathbf{v}_{\perp} в плоскости, перпендикулярной плоскости рисунка.

В результате сложения этих движений электрон будет двигаться по винтовой линии.

Найдем радиус винтовой линии из уравнения

$$qv_{\perp}B = m \frac{v_{\perp}^2}{R}.$$

Отсюда

$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}.$$

Шаг винтовой линии определяется из соотношения

$$h = v_{\parallel}T,$$

где T – период вращения электрона, который равен

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

Следовательно,

$$h = v \cos \alpha \frac{2\pi m}{qB}.$$

В результате расчетов имеем

$$R = 2,84 \text{ мм}, \quad h = 3,1 \text{ см}.$$

Ответ: $R = 2,84 \text{ мм}, \quad h = 3,1 \text{ см}.$

З а д а ч а 5. Виток площадью 2 см^2 расположен перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля. Чему равна индуцируемая в витке ЭДС, если за время $0,05 \text{ с}$ магнитная индукция равномерно убывает с $0,5$ до $0,1 \text{ Тл}$?

Дано: $S = 2 \text{ см}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2, \Delta t = 0,05 \text{ с},$ $B_1 = 0,5 \text{ Тл}, B_2 = 0,1 \text{ Тл}$
$\varepsilon_i = ?$

Решение. В соответствии с законом электромагнитной индукции

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Поток магнитной индукции $\Phi = BS \cos \alpha$. Так как магнитная индукция изменяется, имеем

$$\Delta\Phi = \Delta BS \cos \alpha.$$

Следовательно,

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta B}{\Delta t} S \cos \alpha.$$

Подставляя численные значения, получаем

$$\varepsilon_i = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ В}.$$

Ответ: $\varepsilon_i = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ В}.$

З а д а ч а 6. В однородном магнитном поле с индукцией $6 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$ находится соленоид диаметром 8 см , имеющий 80 витков. Соленоид поворачивают на угол 180° за время $0,2 \text{ с}$ так, что его ось остается направленной вдоль поля. Определить значение электродвижущей силы, возникающей в соленоиде.

Дано:
 $B = 6 \cdot 10^{-2}$ Тл, $d = 8$ см = $8 \cdot 10^{-2}$ м,
 $\alpha_1 = 0^\circ$, $\alpha_2 = 180^\circ$, $\Delta t = 0,2$ с,
 $N = 80$

$\varepsilon_i = ?$

Решение. При изменении магнитного потока, пронизывающего соленоид, состоящий из N витков, за время Δt в нем индуцируется ЭДС

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

Магнитный поток изменяется в результате изменения угла между вектором нормали к плоскости витка и вектором магнитной индукции:

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = BS \cos \alpha_2 - BS \cos \alpha_1 = -2BS.$$

Подставив изменение магнитного потока в выражение для ЭДС и учитывая, что сечение соленоида $S = \frac{\pi d^2}{4}$, окончательно получим

$$\varepsilon_i = \frac{N \pi d^2 B}{2 \Delta t} = \frac{80 \cdot 3,14 \cdot (8 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 6 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,2} = 0,24 \text{ В.}$$

Ответ: $\varepsilon_i = 0,24$ В.

З а д а ч а 7. Определить ЭДС самоиндукции, возникающую в контуре при уменьшении силы тока с 3 до 1 А за 0,01 с, если при силе тока 4 А магнитный поток через поверхность, ограниченную этим контуром, равен $6 \cdot 10^{-3}$ Вб.

Дано:
 $I_1 = 3$ А, $I_2 = 1$ А,
 $\Delta t = 0,01$ с,
 $I = 4$ А,
 $\Phi = 6 \cdot 10^{-3}$ Вб

$\varepsilon_s = ?$

Решение. Электродвижущая сила самоиндукции, возникающая в контуре при изменении силы тока, определяется законом

$$\varepsilon_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Индуктивность контура найдем из соотношения $\Phi = LI$:

$$L = \frac{\Phi}{I}.$$

С учетом этого

$$\varepsilon_s = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} = -\frac{\Phi}{I} \cdot \frac{I_2 - I_1}{\Delta t}.$$

В результате расчетов получаем

$$\varepsilon_s = -\frac{6 \cdot 10^{-3}}{4} \cdot \frac{(1-3)}{0,01} = 0,3 \text{ В.}$$

Ответ: $\varepsilon_s = 0,3 \text{ В.}$

З а д а ч а 8. Энергия магнитного поля катушки, по которой течет постоянный ток, равна 3 Дж. Магнитный поток через катушку составляет 0,5 Вб. Найти силу тока.

Дано: $W = 3 \text{ Дж}, \Phi = 0,5 \text{ Вб}$ <hr/> $I = ?$
--

Решение. Энергия магнитного поля, создаваемого током в катушке, равна

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Так как магнитный поток через катушку $\Phi = LI$, где L – индуктивность катушки, сила тока равна

$$I = \frac{2W}{\Phi}.$$

Подставляя численные значения, получаем

$$I = \frac{2 \cdot 3}{0,5} = 12 \text{ А.}$$

Ответ: $I = 12 \text{ А.}$

