

Тема №9

Сила Ампера. Движение заряженных частиц в магнитном поле

Задача 1

Задача 2

Задача 3

Задача 4

Задача 5

Задача 6

Задача 7

Задача 8

Задача 9

Задача 10

Задача 11

Задача 12

Теоретическое введение

Сила Ампера. Движение заряженных частиц в магнитном поле

Магнитная индукция B связана с напряженностью H магнитного поля соотношением

$$B = \mu\mu_0 H$$

Где μ - относительная магнитная проницаемость среды,

$\mu_0 - 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 12,57 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ - магнитная постоянная.

Для ферромагнитных тел $\mu = f(H)$, следовательно, и $B = f(H)$. При решении задач, где требуется знать $B = f(H)$, необходимо пользоваться соответствующим графиком.

Объемная плотность энергии магнитного поля

$$w_0 = \frac{HB}{2}$$

Магнитный поток (поток магнитной индукции) сквозь контур

$$\Phi = BS \cos \phi$$

Где S - площадь поперечного сечения контура,

ϕ - угол между нормалью к плоскости контура и направлением магнитного поля. Магнитный поток сквозь тороид:

$$\Phi = \frac{\mu\mu_0 I N S}{L}$$

где N - общее число витков тороида,

L - его длина,

S - площадь поперечного сечения,

μ - относительная магнитная проницаемость материала сердечника,

μ_0 - магнитная постоянная.



Если тороид имеет воздушный зазор, то

$$\Phi = \frac{IN}{\frac{L_1}{S\mu_0\mu_1} + \frac{L_2}{S\mu_0\mu_2}}$$

где L_1 - длина железного сердечника,

μ_1 - его магнитная проницаемость,

L_2 - длина воздушного зазора,

μ_2 - магнитная проницаемость воздуха.

На элемент dl проводника с током, находящемся в магнитном поле, действует сила Ампера:

$$dF = BI \sin \alpha \, dl$$

где α - угол между направлениями тока и магнитного поля.

На замкнутый контур с током в магнитном поле действует пара сил с вращающим моментом:

$$M = pI \sin \alpha$$

где

p - магнитный момент контура с током (или магнитной стрелки),

α - угол между направлением магнитного поля и нормалью к плоскости контура (или осью стрелки).

Магнитный момент контура с током (по модулю)

$$p = IS$$

где S - площадь контура.

Поэтому

$$M = BIS \sin \alpha$$

Два параллельных бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами I_1 и I_2 взаимодействуют между собой с силой:

$$F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2 L}{2\pi d},$$

L - длина участка проводников,

d - расстояние между ними.

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле

$$dA = Id\Phi,$$

где $d\Phi$ - магнитный поток, пересеченный проводником при его

движении



Сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся со скоростью v в магнитном поле, определяется формулой Лоренца

$$F = qBv \sin \alpha$$

где

q - заряд частицы,

α - угол между направлениями скорости частицы и магнитного поля.

При протекании тока I вдоль проводящей пластины, помещенной перпендикулярно к магнитному полю, возникает поперечная разность потенциалов

$$U = k \frac{IB}{a} = \frac{IB}{nea}$$

где a - толщина пластины,
 B - индукция магнитного поля.

$k = \frac{1}{ne}$ постоянная Холла, обратная концентрации n носителей тока и их заряду e . Зная постоянную Холла k и удельную проводимость материала

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = ne\mu,$$

можно найти подвижность носителей заряда μ .

Явление электромагнитной индукции заключается в появлении в контуре э.д.с. индукции при всяком изменении магнитного потока Φ сквозь поверхность, охватываемую контуром. Э.Д.С. индукции определяется уравнением:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Изменение магнитного потока может достигаться изменением тока в самом контуре (явление самоиндукции).

При этом Э.Д.С. самоиндукции определяется формулой:

$$E = -L \frac{dI}{dt},$$

где L - индуктивность контура.

Индуктивность соленоида:

$$L = \mu\mu_0 n^2 IS,$$

где l - длина соленоида,

S - площадь его поперечного сечения,

n - число витков на единицу его длины.



Вследствие явления самоиндукции при выключении э.д.с. ток в цепи спадает по закону

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{R}{L}t\right),$$

а при включении э.д.с. ток нарастает по закону

$$I = I_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{R}{L}t\right)\right],$$

где R - сопротивление цепи.

Магнитная энергия контура с

током:

$$W = \frac{L I^2}{2}.$$

Изменение магнитного потока может достигаться также изменением тока в соседнем контуре (явление взаимной индукции). При этом индуцируемая э.д.с.

$$E = -L_{12} \frac{dI}{dt},$$

где L_{12} - взаимная индуктивность контуров.

Взаимная индуктивность контуров, пронизываемых общим магнитным потоком

$$L = \mu \mu_0 n_1 n_2 l S,$$

где n_1 и n_2 - числа витков на единицу длины этих соленоидов.

Количество электричества, прошедшего через поперечное сечение проводника при возникновении в нем индукционного тока

$$dq = -\frac{1}{R} d\Phi.$$



Задача 1

Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле с индукцией $B=0,1$ Тл. По проводу длиной $l=70$ см, помещенному перпендикулярно к направлению магнитного поля, течет ток $I=70$ А. Найти силу F , действующую на провод.



Задача 1

Дано:

$$B=0,1 \text{ Тл}$$

$$l = 0,7 \text{ м}$$

$$I = 70 \text{ А}$$

$$\alpha=90^\circ$$

$$F - ?$$

Решение:

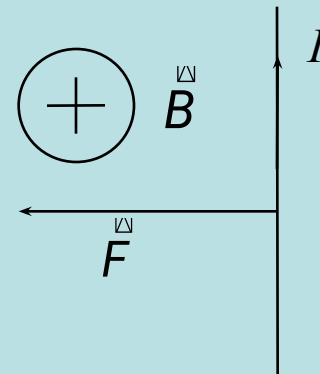
Сила Ампера, действующая на проводник с током в магнитном поле

$$F = BIl \sin \alpha$$

В данном случае $\alpha=90^\circ$, $\sin 90^\circ=1$. С учетом этого формула приобретает вид

$$F = BIl$$

$$F=4,9 \text{ (Н)}$$



Ответ:

сила, действующая на провод, помещенный между полюсами электромагнита перпендикулярно к направлению магнитного поля, равна $F=4,9 \text{ Н}$.



Задача 2

Из проволоки длиной $l = 20$ см сделаны квадратный и круговой контуры. Найти вращающие моменты сил M_1 и M_2 , действующие на каждый контур, помещенный в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,1$ Тл. По контурам течет ток $I = 2$ А. Плоскость каждого контура составляет угол 45° с направлением поля.



Задача 2

Дано:

$B=0,1\text{ Тл}$
 $l=0,2\text{ м}$
 $I=2\text{ А}$
 $\alpha=45^\circ$

$M_1, M_2 - ?$

Решение:

Вращающий момент сил, действующих на контур, помещенный в однородное магнитное поле

$$M = BIS \sin \alpha$$

$$S = \frac{l^2}{16}$$

Во втором случае длина круга

$$l = 2\pi R$$

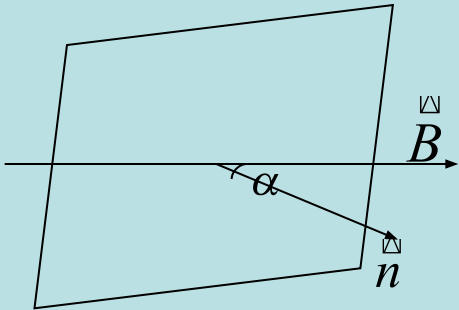
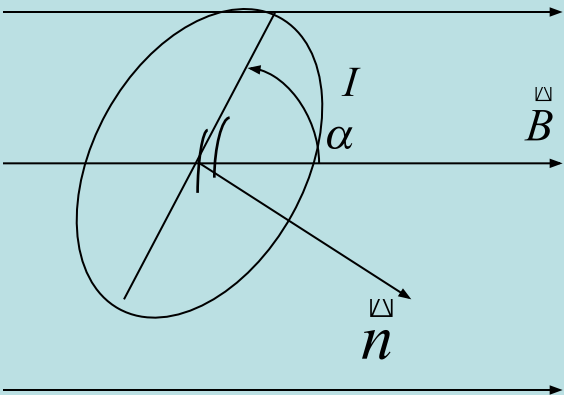
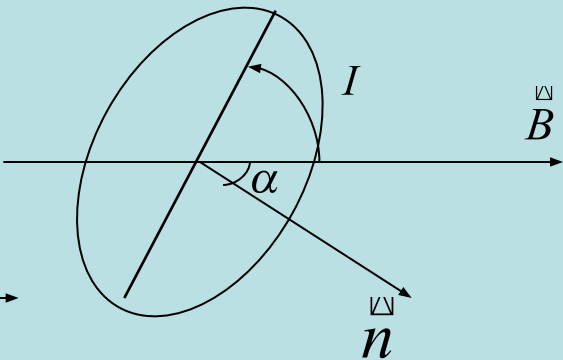
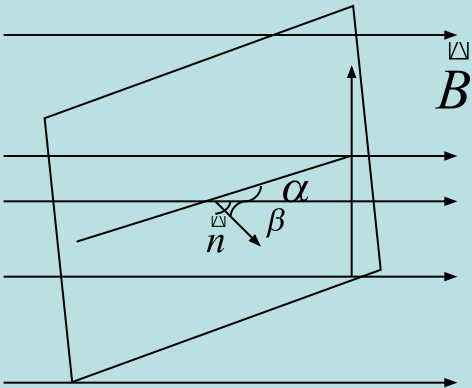
$$S = \pi R^2 = \frac{\pi l^2}{4\pi^2} = \frac{l^2}{4\pi}. \quad (3)$$

Отсюда
а $R = \frac{1}{2\pi}$, тогда

Подставим (3) и (2) в (1), получаем

$$M_1 = \frac{BIl^2}{16} \sin \alpha, \quad M_2 = \frac{BIl^2}{4\pi} \sin \alpha,$$

где α - угол между направлением магнитного поля и нормалью к плоскости контура.



Ответ: вращающие моменты сил M_1 и M_2 , действующие на контуры в однородном магнитном поле $M_1=3,53 \cdot 10^{-4}\text{ Н}\cdot\text{м}$, $M_2=4,5 \cdot 10^{-2}\text{ Н}\cdot\text{м}$.



Задача 3

Катушка гальванометра, состоящая из $N=400$ витков тонкой проволоки, намотанной на прямоугольный каркас длиной $l = 3$ см и шириной $b=2$ см, подвешена на нити в магнитном поле с индукцией $B=0,1$ Тл. По катушке течет ток $I = 0,1$ мкА. Найти вращающий момент M , действующий на катушку гальванометра, если плоскость катушки:

- а) параллельна направлению магнитного поля,
- б) составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с направлением магнитного поля.



Задача 3

Дано:

$$N=400$$

$$B=0,1 \text{ Тл}$$

$$l = 0,3 \text{ м}$$

$$b= 2 \text{ см}$$

$$I = 0,1 \text{ мкА}$$

$$\text{а) } \alpha=0^\circ$$

$$\text{б) } \alpha= 60^\circ$$

$$M - ?$$

Решение:

$$M = BIS \sin \alpha \quad (1)$$

Для нахождения α в двух случаях, рассмотрим случай

$$\text{а) } \alpha = 90^\circ - 0^\circ = 90^\circ,$$

т.к. нормаль перпендикулярна к плоскости,
которая параллельна направлению магнитного поля.

$$\text{б) } \alpha = 90^\circ - 60^\circ = 30^\circ,$$

т.к. нормаль перпендикулярна к плоскости, которая
составляет угол $\alpha=60^\circ$ с направлением магнитного
поля.

$$M' = MN$$

где M - вращающий момент сил, действующий на каждый виток

$$M' = SBIN \sin \alpha$$

Учитывая тот момент, что виток имеет форму прямоугольника, получаем

$$M' = blBIN \sin \alpha$$

Ответ:

вращающий момент, действующий на катушку гальванометра в
случае, когда плоскость катушки: а) параллельна направлению
магнитного поля $M_1 = 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ (Н} \cdot \text{м)}$; б) составляет угол $\alpha=60^\circ$ с
направлением магнитного поля $M_2 = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ (Н} \cdot \text{м)}$.



Задача 4

В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,5$ Тл движется равномерно проводник длиной $l=10$ см. По проводнику течет ток $I=2$ А. Скорость движения проводника $v = 0,2$ м/с и направлена перпендикулярно к направлению магнитного поля. Найти работу по перемещению проводника за время $t=10$ с и мощность P , затраченную на его перемещение.



Задача 4

Дано:

$$B=0,5 \text{ Тл}$$

$$l=0,1 \text{ м}$$

$$v=0,2 \text{ м/с}$$

$$I=2 \text{ А}$$

$$A, P - ?$$

Решение:

α - угол между нормалью к плоскости контура и направлением магнитного поля

$$\cos \alpha = 1$$

ϕ - угол между направлением действия силы и перемещением т.е. $\phi = 0$, отсюда $\cos \phi = 1$.

$$A = I \Delta \Phi \tag{1}$$

$$A = \vec{F}_A \cdot \vec{S}' = F_A \cdot S' \cdot \cos \varphi = B l I S' = B S I$$

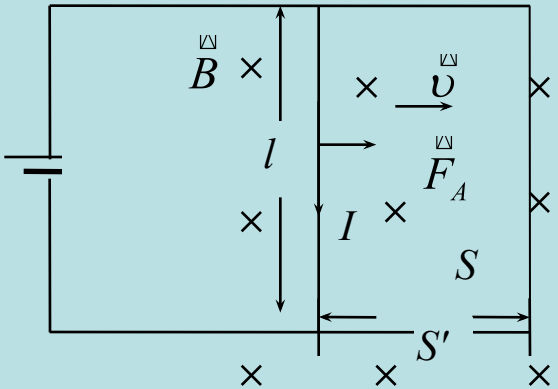
$$\Delta \Phi = B S \cos \alpha \Rightarrow \Delta \Phi = B S \tag{2}$$

$$S' = v t \qquad S = l \cdot S' = l v t$$

$$\Delta \Phi = l v t B \tag{3}$$

Подставим (3) в (1), получаем

$$A = I B l v t \tag{4}$$



$$P = \frac{A}{t} \tag{5}$$

Подставляем (4) в (5), получаем:

$$P = B I l v$$

Ответ: работа по перемещению проводника за время t равна $A=0,2$ Дж, мощность, затрачиваемая при этом перемещении равна $P=0,02$ Вт.



Задача 5

Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U=1$ кВ влетает в однородное магнитное поле, направление которого перпендикулярно к направлению его движения. Индукция магнитного поля $B=1,19$ мТл. Найти радиус R окружности, по которой движется электрон, период обращения T и момент импульса M электрона.



Задача 5

Дано:

$U=1000\text{В}$

$B=1,19\cdot 10^{-3}\text{ Тл}$

$m_0 = 9,1\cdot 10^{-31}\text{ кг}$

$\frac{e}{T_0} = 1,76\cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$

$R, T, M - ?$

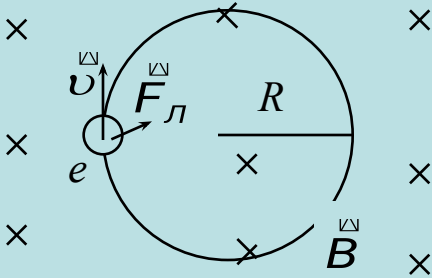
Решение:

Частица приобретает кинетическую энергию

$W = \frac{mv_0^2}{2}$

Согласно закону сохранения и превращения энергии

$eU = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2Ue}{m}} \quad (1)$



Сила Лоренца сообщает заряду перпендикулярное к скорости ускорение

$w_{\pi} = \frac{F}{m} = \frac{e}{m} vB$

Это ускорение изменяет лишь направление скорости, величина же скорости остается неизменной. Следовательно, и ускорение будет постоянным по величине. При этих условиях заряженная частица движется равномерно по окружности, радиус которой определяется соотношением

$R = \frac{m v}{e B} \quad (2)$

$w_{\pi} = \frac{v^2}{R}$

Подставив (1) в (2), получаем:

$R = \frac{m}{eB} \sqrt{\frac{2Ue}{m}} = \sqrt{\frac{2Um}{e}} \frac{1}{B}$

$T = \frac{2\pi R}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{2Um}{e}} \frac{1}{B} \sqrt{\frac{m}{2Ue}} = \frac{m}{eB} 2\pi$

$M = m v R$

$M = \sqrt{\frac{2Ue}{m}} \sqrt{\frac{2Um}{e}} \frac{1}{B} m = \frac{2Um}{B}$

Ответ:

радиус окружности, по которой движется частица равен $R=9\text{ см}$, период обращения электрона по этой окружности равен $T=30\text{ нс}$, момент

импульса электрона $M = 1,5\cdot 10^{-24} \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}} \right)$



Задача 6

Поток альфа частиц, ускоренных разностью потенциалов $U=1$ МВ, влетает в однородное магнитное поле напряженностью $H=1,2$ кА/м. Скорость каждой частицы направлена перпендикулярно к направлению магнитного поля. Найти силу F , действующую на каждую частицу.



Задача 6

Дано:

$$U=1 \text{ МВ}$$

$$H=1,2 \text{ кА/м}$$

$$\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_\alpha = 6,8 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$F - ?$

Решение:

$$F = qvB \quad (1)$$

$$W_K = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$qU = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2Uq}{m}} \quad (2)$$

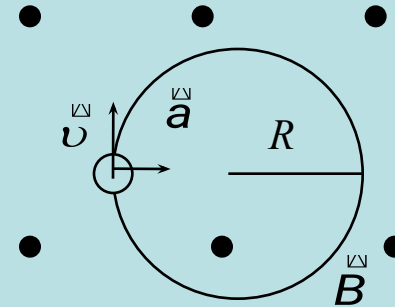
Подставим (2) в (1), получаем

$$F = q\sqrt{\frac{2Uq}{m}}B$$

Зная, что

$$B = \mu_0 H \quad \text{получаем}$$

$$F = q\sqrt{\frac{2Uq}{m}}\mu_0 H$$



Ответ:

сила, действующая на каждую частицу, влетающую в однородное магнитное поле, равна $4,7 \cdot 10^{-18} \text{ Н}$



Задача 7

Электрон влетает в однородное магнитное поле, направление которого перпендикулярно к направлению его движения. Скорость электрона $v = 4 \cdot 10^7$ м/с. Индукция магнитного поля $B = 1$ мТл. Найти тангенциальное и нормальное ускорения электрона в магнитном поле.



Задача 7

Дано:

$$B=1 \text{ мТл}$$

$$v=4 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$\frac{e}{T_0} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

$$a_\tau, a_n - ?$$

Решение:

$$a_\tau = 0$$

$$F = q v B \quad (1)$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} \quad (2)$$

По второму закону Ньютона $F=ma$
или

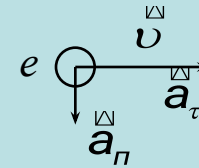
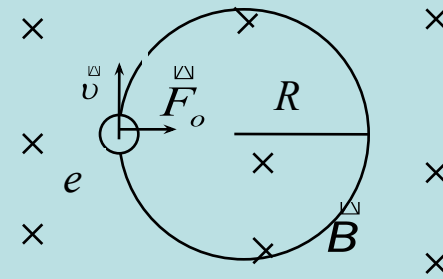
$$F = \frac{v^2}{R} m \quad (3)$$

Приравняем формулы (1) и (3), получаем

$$q v B = \frac{v^2}{R} m \quad q B = \frac{v}{R} m \Rightarrow \frac{v}{R} = \frac{q B}{m} \quad (4)$$

Подставим (4) в (2), получаем

$$a_n = \frac{e B v}{m}$$



Ответ: электрон в магнитном поле движется с центростремительным ускорением
и с тангенциальным $a_\tau = 0 \text{ м/с}^2$

$$a_n = 7 \cdot 10^{15} \text{ м/с}^2$$



Задача 8

Альфа-частица, кинетическая энергия которой $W=500$ эВ, влетает в однородное магнитное поле, перпендикулярное к направлению ее движения. Индукция магнитного поля $B=0,1$ Тл. Найти силу F , действующую на альфа-частицу, радиус R окружности, по которой она движется и период обращения T альфа-частицы.



Задача 8

Дано:

$$B=1 \text{ мТл}$$

$$W=500 \text{ эВ}$$

$$q_{\alpha} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_{\alpha} = 6,8 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$F, R, T - ?$

Решение:

$$W = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$F = qvB \quad (1)$$

$$\frac{mv^2}{R} = Bqv \Rightarrow R = \frac{mv}{qB} \quad (2)$$

Подставляя (1) в (2), получаем:

$$R = \frac{m}{qB} \cdot \sqrt{\frac{2W}{m}} = \frac{\sqrt{2Wm}}{qB} \quad (3)$$

Подставляя (1) в (3), получаем

$$F = Bq\sqrt{\frac{2W}{m}}$$

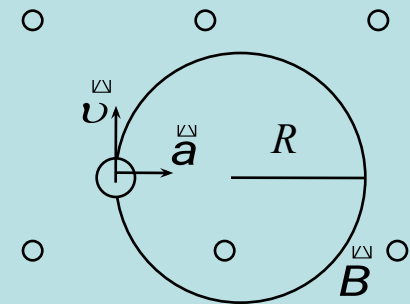
$$T = \frac{2\pi R}{v} \quad (4)$$

Подставим (1), (3) в (4), получим

$$T = \frac{2\pi\sqrt{2Wm}}{qB} \sqrt{\frac{m}{2W}} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Ответ:

сила, действующая на альфа частицу, влетающую в однородное магнитное поле, перпендикулярное направлению ее движения, равна $F=5 \cdot 10^{-17} \text{ Н}$
радиус окружности, по которой перемещается частица, равен $R=3,2 \text{ см}$,
период обращения альфа частицы, равен $T=1,3 \cdot 10^{-6} \text{ с}$



Задача 9

Найти отношение q/m для заряженной частицы, если она, влетая в однородное магнитное поле с напряженностью $H=200$ кА/м со скоростью $v = 10^6$ м/с, движется по дуге окружности радиусом $R=8,3$ см. Направление движения частицы перпендикулярно к направлению магнитного поля. Сравнить значение со значением q/m для электрона, протона и альфа частицы.



Задача 9

Дано:

$$H=200 \text{ кА/м}$$

$$v = 10^6 \text{ м/с}$$

$$R=8,3 \text{ см}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$q/m - ?$$

Решение:

Т.к. $v = \text{const}$, то

$$F = qvB. \quad (1)$$

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

$$F = \frac{v^2}{R} m \quad (2)$$

Приравняв выражения (1) и (2), получаем

$$qvB = \frac{v^2}{R} m$$

$$qB = \frac{v}{R} m \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{v}{BR} \quad (3)$$

$$B = \mu_0 H \quad (4)$$

$$\frac{q}{m} = \frac{v}{\mu_0 H R}$$

Ответ:

отношение $\frac{q}{m}$ для альфа частицы
е составляет

$$\frac{q}{m} = 4,8 \cdot 10^7 \left(\frac{\text{Кл}}{\text{кг}} \right)$$



Задача 10

Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U=6$ кВ, влетает в однородное магнитное поле под углом 30 градусов к направлению поля и движется по винтовой траектории. Индукция магнитного поля $B=13$ мТл. Найти радиус R и шаг h винтовой траектории.



Задача 10

Дано:

$U=6 \text{ кВ}$
 $B=13 \text{ мТл}$
 $\alpha = 30^\circ$
 $\frac{H}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11} \left(\frac{\text{Кл}}{\text{кг}} \right)$

$R, h - ?$

Решение:

$$W = \frac{mv_0^2}{2}$$
$$eU = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{2Ue}{m}}$$

$$\frac{mv_n^2}{R} = Bev_n$$

$$\frac{mv_n}{R} = Be \Rightarrow R = \frac{mv_n}{eB} \quad (2)$$

$$R = \frac{m \sin \alpha}{eB} \sqrt{\frac{2Ue}{m}} \Rightarrow \frac{R}{\sin \alpha} = \frac{m}{eB} \sqrt{\frac{2Ue}{m}} \quad (3)$$

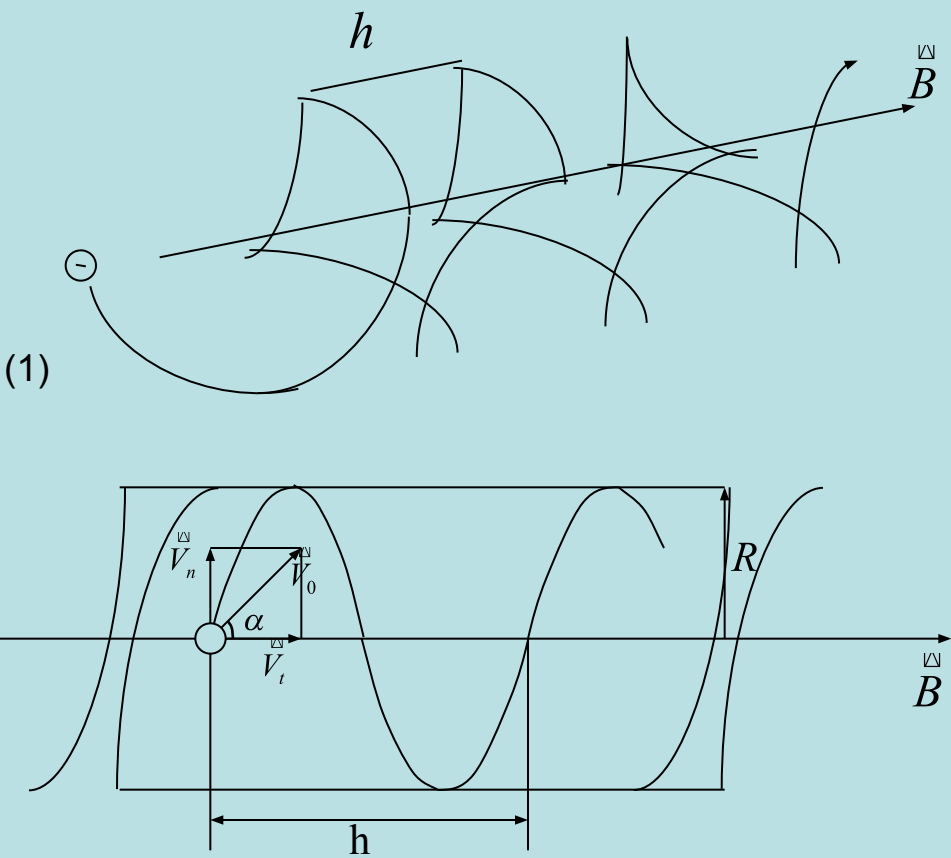
$$R = \sqrt{\frac{2mU}{e}} \frac{\sin \alpha}{B} \quad T = \frac{2\pi R}{v \sin \alpha} \quad (4)$$

Подставим (3) в (4), получаем:

$$T = \frac{2\pi m}{eB}$$

Шаг винтовой траектории электрона:
$$h = v_\tau T = v \cos \alpha \frac{2\pi m}{eB}$$

Ответ: радиус винтовой траектории, образованный при движении электрона, равен $R=0,01 \text{ м}$, шаг винтовой траектории $h=0,11 \text{ м}$.



Задача 11

Протон влетает в однородное магнитное поле под углом 30° к направлению поля и движется по винтовой линии радиусом $R=1,5$ см. Индукция магнитного поля $B=0,1$ Тл. Найти кинетическую энергию W протона.



Задача 11

Дано:

$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$R = 1,5 \text{ см}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$W - ?$

Решение:

$$\begin{aligned} v_\tau &= v_0 \cos \alpha, \\ v_n &= v_0 \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1')$$

$$W = \frac{mv_0^2}{2} \quad (1)$$

$$a = w_\pi = \frac{v_n^2}{R}$$

По второму закону Ньютона сила Лоренца равна

$$F_\pi = ma = \frac{mv_n^2}{R}. \quad (2)$$

$$F_\pi = qv_n B \quad (3)$$

$$\frac{mv_n^2}{R} = qv_n B$$

$$\frac{mv_n}{R} = qB \Rightarrow v_n = \frac{RqB}{m} \quad (2')$$

Подставим (1') в (2'), получаем

$$v_0 \sin \alpha = \frac{RqB}{m} \Rightarrow v_0 = \frac{RqB}{\sin \alpha} \quad (4)$$

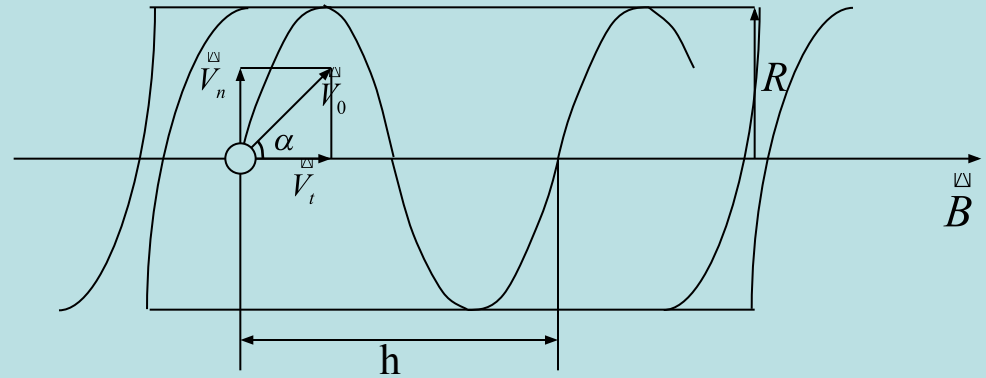
Подставим (3) в (4), получаем

$$W = \left(\frac{RqB}{\sin \alpha} \right)^2 \frac{1}{2m}$$

Ответ:

кинетическая энергия протона
равна

$$W = 356,8 \text{ эВ}$$



Задача 12

Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно пластинам со скоростью $v_0 = 10^7$ м/с. Длина конденсатора $l = 0,05$ м. Напряженность электрического поля конденсатора $E = 10$ кВ/м. При вылете из конденсатора электрон попадает в магнитное поле, перпендикулярное к электрическому полю. Индукция магнитного поля $B = 10$ мТл. Найти радиус R и шаг h винтовой траектории электрона в магнитном поле.



Задача 12

Дано:

$v_0=10^7\text{ м/с}$
 $B=10^{-2}\text{ Тл}$
 $l=0,05\text{ м}$
 $E=10^4\text{ В/м}$

$\frac{e}{\tau_0}=1,76\cdot10^{11}\frac{\text{ Кл}}{\text{ кг}}$

$R, h - ?$

Решение:

$vn = atl \quad (1)$

$l = v_0t_1 \Rightarrow t_1 = \frac{l}{v_0} \quad (2)$

Подставим (2) в (1),
получаем

$v_n = \frac{al}{v_0} \quad (3)$

Найдем ускорение a .

$F = ma \quad (4) \quad F = eE \quad (5)$

воспользуемся равенством выражений (4) и (5)

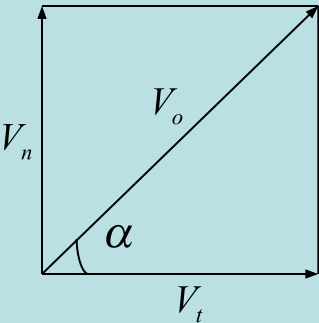
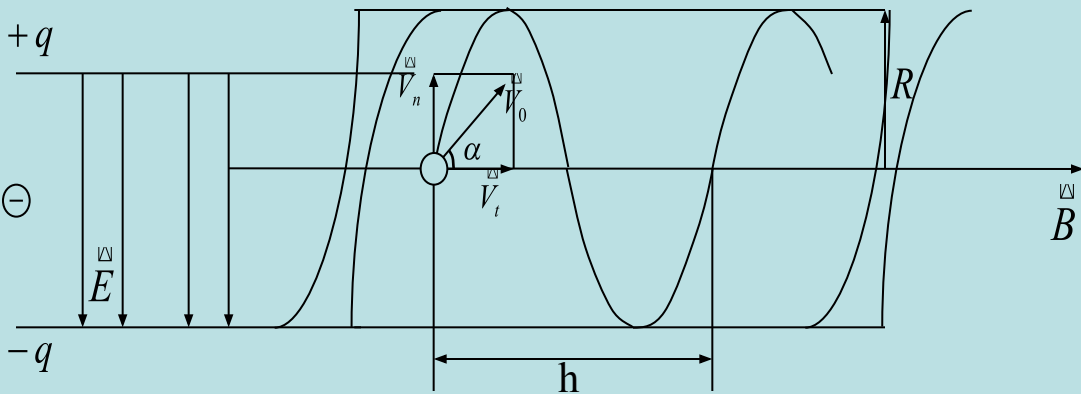
$ma = eE \quad a = \frac{eE}{m} \quad (6)$

Подставим (6) в (3), получаем, что $v_n = \frac{elE}{v_0m}$

$w_n = \frac{v_n^2}{R} \quad F_n = mw_n = \frac{mv_n^2}{R} \quad (8)$

$FЛ = qvnB \quad (9) \quad \frac{mv_n}{R} = qB \quad R = \frac{mv_n}{eB} \quad (10) \quad \text{Подставим (7) в (10), получаем}$

$R = \frac{m}{eB} \cdot \frac{elE}{v_0m} = \frac{IE}{v_0B} \cdot \quad T = \frac{2\pi R}{v_n}, \quad h = Tv_\tau = \frac{2\pi R v_\tau}{v_n}.$



Ответ: радиус винтовой траектории $R=5\text{ мм}$,
шаг винтовой траектории $h=3,6\text{ см}$.

$(11) \quad tg\alpha = \frac{v_n}{v_\tau} \Rightarrow \frac{v_n}{v_\tau} = \frac{1}{tg\alpha}.$
 $h = \frac{2\pi v_0 v_0 m}{eE} \cdot \frac{EI}{v_0 B} = \frac{2\pi v_0 m}{eB}.$

