

Основные теоретические сведения

Сила Ампера

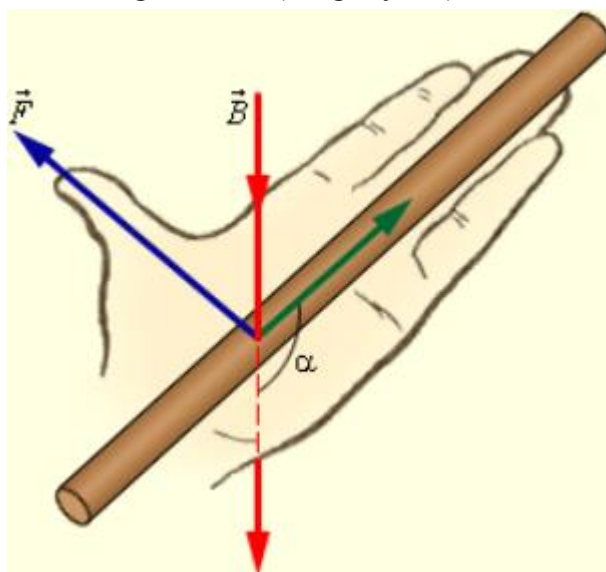
Заряженные тела способны создавать кроме электрического еще один вид поля. Если заряды движутся, то в пространстве вокруг них создается особый вид материи, называемый магнитным полем. Следовательно, электрический ток, представляющий собой упорядоченное движение зарядов, тоже создает магнитное поле. Как и электрическое поле, магнитное поле не ограничено в пространстве, распространяется очень быстро, но все же с конечной скоростью. Его можно обнаружить только по действию на движущиеся заряженные тела (и, как следствие, токи).

Для описания магнитного поля необходимо ввести силовую характеристику поля, аналогичную вектору напряженности E электрического поля. Такой характеристикой является вектор B магнитной индукции. В системе единиц СИ за единицу магнитной индукции принят 1 Тесла (Тл). Если в магнитное поле с индукцией B поместить проводник длиной l с током I , то на него будет действовать сила, называемая силой Ампера, которая вычисляется по формуле:

$$F_A = BIl \cdot \sin \alpha$$

где: B – индукция магнитного поля, I – сила тока в проводнике, l – его длина. Сила Ампера направлена перпендикулярно вектору магнитной индукции и направлению тока, текущего по проводнику.

Для определения направления силы Ампера обычно используют **правило «Левой руки»**: если расположить левую руку так, чтобы линии индукции входили в ладонь, а вытянутые пальцы были направлены вдоль тока, то отведенный большой палец укажет направление силы Ампера, действующей на проводник (см. рисунок).



Если угол α между направлениями вектора магнитной индукции и тока в проводнике отличен от 90° , то для определения направления силы Ампера надо взять составляющую магнитного поля, которая перпендикулярна направлению тока. Решать задачи этой темы нужно так же как и в динамике или статике, т.е. расписав силы по осям координат или складывая силы по правилам сложения векторов.

Момент сил, действующих на рамку с током

Пусть рамка с током находится в магнитном поле, причём плоскость рамки перпендикулярна полю. Силы Ампера будут сжимать рамку, а их равнодействующая будет равна нулю. Если поменять направление тока, то силы Ампера поменяют своё направление, и рамка будет не сжиматься, а растягиваться. Если линии магнитной индукции лежат в

плоскости рамки, то возникает вращательный момент сил Ампера. **Вращательный момент сил Ампера** равен:

$$M = NBIS \cdot \sin \alpha$$

где: S - площадь рамки, α - угол между нормалью к рамке и вектором магнитной индукции (нормаль - вектор, перпендикулярный плоскости рамки), N - количество витков, B - индукция магнитного поля, I - сила тока в рамке.

Сила Лоренца

[К оглавлению...](#)

Сила Ампера, действующая на отрезок проводника длиной Δl с силой тока I , находящийся в магнитном поле B может быть выражена через силы, действующие на отдельные носители заряда. Эти силы называют **силами Лоренца**. Сила Лоренца, действующая на частицу с зарядом q в магнитном поле B , двигающуюся со скоростью v , вычисляется по следующей формуле:

$$F_L = qvB \cdot \sin \alpha$$

Угол α в этом выражении равен углу между скоростью и вектором магнитной индукции. Направление силы Лоренца, действующей на **положительно** заряженную частицу, так же, как и направление силы Ампера, может быть найдено по правилу левой руки или по правилу буравчика (как и сила Ампера). Вектор магнитной индукции нужно мысленно воткнуть в ладонь левой руки, четыре сомкнутых пальца направить по скорости движения заряженной частицы, а отогнутый большой палец покажет направление силы Лоренца. Если частица имеет **отрицательный** заряд, то направление силы Лоренца, найденное по правилу левой руки, надо будет заменить на противоположное.

Сила Лоренца направлена перпендикулярно векторам скорости и индукции магнитного поля. При движении заряженной частицы в магнитном поле **сила Лоренца работы не совершает**. Поэтому модуль вектора скорости при движении частицы не изменяется. Если заряженная частица движется в однородном магнитном поле под действием силы Лоренца, а ее скорость лежит в плоскости, перпендикулярной вектору индукции магнитного поля, то частица будет двигаться по окружности, радиус которой можно вычислить по следующей формуле:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Сила Лоренца в этом случае играет роль центростремительной силы. Период обращения частицы в однородном магнитном поле равен:

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

Последнее выражение показывает, что для заряженных частиц заданной массы m период обращения (а значит и частота, и угловая скорость) не зависит от скорости (следовательно, и от кинетической энергии) и радиуса траектории R .

Теория о магнитном поле

[К оглавлению...](#)

Магнитное взаимодействие токов

Если по двум параллельным проводам идёт ток в одном направлении, то они притягиваются; если в противоположных направлениях, то отталкиваются. Закономерности этого явления были экспериментально установлены

Ампером. Взаимодействие токов вызывается их магнитными полями: магнитное поле одного тока действует силой Ампера на другой ток и наоборот. опыты показали, что модуль силы, действующей на отрезок длиной Δl каждого из проводников, прямо пропорционален силам тока I_1 и I_2 в проводниках, длине отрезка Δl и обратно пропорционален расстоянию R между ними:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$$

где: μ_0 – постоянная величина, которую называют **магнитной постоянной**. Введение магнитной постоянной в СИ упрощает запись ряда формул. Ее численное значение равно:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Н/А}^2.$$

Сравнивая приведенное только что выражение для силы взаимодействия двух проводников с током и выражение для силы Ампера нетрудно получить выражение для **индукции магнитного поля создаваемого каждым из прямолинейных проводников с током на расстоянии R от него**:

$$B_{\text{прямого тока}} = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \frac{I}{R}$$

где: μ – магнитная проницаемость вещества (об этом чуть ниже). Если ток протекает по круговому витку, то в **центре витка индукция магнитного поля** определяется по формуле:

$$B_{\text{центр витка с током}} = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$$

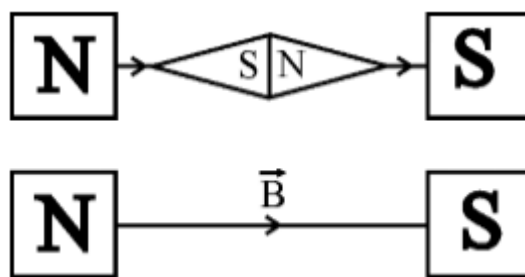
Силовыми линиями магнитного поля называют линии, по касательным к которым располагаются магнитные стрелки. **Магнитной стрелкой** называют длинный и тонкий магнит, его полюса точечны. Подвешенная на нити магнитная стрелка всегда поворачивается в одну сторону. При этом один её конец направлен в сторону севера, второй – на юг. Отсюда название полюсов: северный (N) и южный (S). Магниты всегда имеют два полюса: северный (обозначается синим цветом или буквой N) и южный (красным цветом или буквой S). Магниты взаимодействуют так же, как и заряды: одноименные полюса отталкиваются, а разноименные – притягиваются. Невозможно получить магнит с одним полюсом. Даже если магнит разломать, то у каждой части будет по два разных полюса.

Вектор магнитной индукции

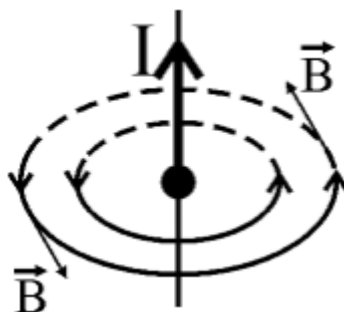
Вектор магнитной индукции – векторная физическая величина, являющаяся характеристикой магнитного поля, численно равная силе, действующей на элемент тока в 1 А и длиной 1 м, если направление силовой линии перпендикулярно проводнику. Обозначается B , единица измерения – 1 Тесла. 1 Тл – очень большая величина, поэтому в реальных магнитных полях магнитную индукцию измеряют в мТл.

Вектор магнитной индукции направлен по касательной к силовым линиям, т.е. совпадает с направлением северного полюса магнитной стрелки, помещённой в данное магнитное поле. Направление вектора магнитной индукции не совпадает с направлением силы, действующей на проводник, поэтому силовые линии магнитного поля, строго говоря, силовыми не являются.

Силовая линия магнитного поля постоянных магнитов направлена по отношению к самим магнитам так, как показано на рисунке:



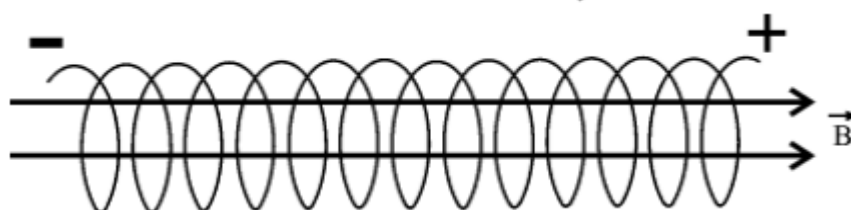
В случае **магнитного поля электрического тока** для определения направления силовых линий используют правило «**Правой руки**»: если взять проводник в правую руку так, чтобы большой палец был направлен по току, то четыре пальца, обхватывающие проводник, показывают направление силовых линий вокруг проводника:



В случае прямого тока линии магнитной индукции - окружности, плоскости которых перпендикулярны току. Вектора магнитной индукции направлены по касательной к окружности.

Соленоид - намотанный на цилиндрическую поверхность проводник, по которому течёт электрический ток I . **Магнитное поле соленоида** подобно полю прямого постоянного магнита. Внутри соленоида длиной l и количеством витков N создается однородное магнитное поле с индукцией (его направление также определяется правилом правой руки):

$$B_{\text{ось соленоида}} = \mu\mu_0 I \frac{N}{l}$$



Линии магнитного поля имеют вид замкнутых линий - это общее свойство всех магнитных линий. Такое поле называют вихревым. В случае постоянных магнитов линии не оканчиваются на поверхности, а проникают внутрь магнита и замыкаются внутри. Это различие электрического и магнитного полей объясняется тем, что, в отличие от электрических, магнитных зарядов не существует.

Магнитные свойства вещества

Все вещества обладают магнитными свойствами. Магнитные свойства вещества характеризуются **относительной магнитной проницаемостью** μ , для которой верно следующее:

$$\mu = \frac{B_{\text{в веществе}}}{B_{\text{в вакууме}}}$$

Данная формула выражает соответствие вектора магнитной индукции поля в вакууме и в данной среде. В отличие от электрического, при магнитном взаимодействии в среде можно наблюдать и усиление, и ослабление взаимодействия по сравнению с вакуумом, у которого

магнитная проницаемость $\mu = 1$. У **диамагнетиков** магнитная проницаемость μ немного меньше единицы. Примеры: вода, азот, серебро, медь, золото. Эти вещества несколько ослабляют магнитное поле. **Парамагнетики** - кислород, платина, магний - несколько усиливают поле, имея μ немного больше единицы. У **ферромагнетиков** - железо, никель, кобальт - $\mu \gg 1$. Например, у железа $\mu \approx 25000$.

Магнитный поток. Электромагнитная индукция

[К оглавлению...](#)

Явление **электромагнитной индукции** было открыто выдающимся английским физиком М.Фарадеем в 1831 году. Оно заключается в возникновении электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении во времени магнитного потока, пронизывающего контур. **Магнитным потоком** Φ через площадь S контура называют величину:

$$\Phi = NBS \cdot \cos \alpha$$

где: B – модуль вектора магнитной индукции, α – угол между вектором магнитной индукции B и нормалью (перпендикуляром) к плоскости контура, S – площадь контура, N – количество витков в контуре. Единица магнитного потока в системе СИ называется Вебером (Вб).

Фарадей экспериментально установил, что при изменении магнитного потока в проводящем контуре возникает **ЭДС индукции** $\varepsilon_{\text{инд}}$, равная скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром, взятой со знаком минус:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Изменение магнитного потока, пронизывающего замкнутый контур, может происходить по двум возможным причинам.

1. Магнитный поток изменяется вследствие перемещения контура или его частей в постоянном во времени магнитном поле. Это случай, когда проводники, а вместе с ними и свободные носители заряда, движутся в магнитном поле. Возникновение ЭДС индукции объясняется действием силы Лоренца на свободные заряды в движущихся проводниках. Сила Лоренца играет в этом случае роль сторонней силы.
2. Вторая причина изменения магнитного потока, пронизывающего контур, – изменение во времени магнитного поля при неподвижном контуре.

При решении задач важно сразу определить за счет чего меняется магнитный поток. Возможно три варианта:

1. Меняется магнитное поле.
2. Меняется площадь контура.
3. Меняется ориентация рамки относительно поля.

При этом при решении задач обычно считают ЭДС по модулю. Обратим внимание также внимание на один частный случай, в котором происходит явление электромагнитной индукции. Итак, максимальное значение ЭДС индукции в контуре состоящем из N витков, площадью S , вращающемся с угловой скоростью ω в магнитном поле с индукцией B :

$$\varepsilon_{\text{max}} = \omega NBS$$

Движение проводника в магнитном поле

[К оглавлению...](#)

При движении проводника длиной l в магнитном поле B со скоростью v на его концах возникает разность потенциалов, вызванная действием силы Лоренца на свободные электроны в проводнике. Эту разность потенциалов (строго говоря, ЭДС) находят по формуле:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = vBl \sin \alpha$$

где: α - угол, который измеряется между направлением скорости и вектора магнитной индукции. В неподвижных частях контура ЭДС не возникает.

Если стержень длиной L вращается в магнитном поле B вокруг одного из своих концов с угловой скоростью ω , то на его концах возникнет разность потенциалов (ЭДС), которую можно рассчитать по формуле:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} BL^2 \omega$$

Индуктивность. Самоиндукция. Энергия магнитного поля

[К оглавлению...](#)

Самоиндукция является важным частным случаем электромагнитной индукции, когда изменяющийся магнитный поток, вызывающий ЭДС индукции, создается током в самом контуре. Если ток в рассматриваемом контуре по каким-то причинам изменяется, то изменяется и магнитное поле этого тока, а, следовательно, и собственный магнитный поток, пронизывающий контур. В контуре возникает ЭДС самоиндукции, которая согласно правилу Ленца препятствует изменению тока в контуре. **Собственный магнитный поток** Φ , пронизывающий контур или катушку с током, пропорционален силе тока I :

$$\Phi = LI$$

Коэффициент пропорциональности L в этой формуле называется коэффициентом самоиндукции или **индуктивностью** катушки. Единица индуктивности в СИ называется Генри (Гн).

Запомните: индуктивность контура не зависит ни от магнитного потока, ни от силы тока в нем, а определяется только формой и размерами контура, а также свойствами окружающей среды. Поэтому при изменении силы тока в контуре индуктивность остается неизменной. Индуктивность катушки можно рассчитать по формуле:

$$L = \mu_0 \mu n^2 l S$$

где: n - концентрация витков на единицу длины катушки:

$$n = N/l$$

ЭДС **самоиндукции**, возникающая в катушке с постоянным значением индуктивности, согласно формуле Фарадея равна:

$$\varepsilon_{\text{си}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Итак ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна индуктивности катушки и скорости изменения силы тока в ней.

Магнитное поле обладает энергией. Подобно тому, как в заряженном конденсаторе имеется запас электрической энергии, в катушке, по виткам которой протекает ток, имеется запас магнитной энергии. Энергия W_m магнитного поля катушки с индуктивностью L , создаваемого током I , может быть рассчитана по одной из формул (они следуют друг из друга с учётом формулы $\Phi = LI$):

$$W_M = \frac{\Phi I}{2} = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}$$

Соотнеся формулу для энергии магнитного поля катушки с её геометрическими размерами можно получить формулу для **объемной плотности энергии магнитного поля** (или энергии единицы объёма):

$$\omega_{\text{магн}} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}$$

Правило Ленца

[К оглавлению...](#)

Инерция – явление, происходящее и в механике (при разгоне автомобиля мы отклоняемся назад, противодействуя увеличению скорости, а при торможении отклоняемся вперёд, противодействуя уменьшению скорости), и в молекулярной физике (при нагревании жидкости увеличивается скорость испарения, самые быстрые молекулы покидают жидкость, уменьшая скорость нагревания) и так далее. В электромагнетизме инерция проявляется в противодействии изменению магнитного потока, пронизывающего контур. Если магнитный поток нарастает, то возникающий в контуре индукционный ток направлен так, чтобы препятствовать нарастанию магнитного потока, а если магнитный поток убывает, то возникающий в контуре индукционный ток направлен так, чтобы препятствовать убыванию магнитного потока.

Правило Ленца для определения направления индукционного тока: возникающий в контуре индукционный ток имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует изменению магнитного потока, которое вызывало этот ток.

Примеры решения задач

Пример №8. По тонкому стержню длиной $l = 50$ см равномерно распределен заряд $q = 60$ нКл. Стержень вращается с частотой $\nu = 12$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной

стержню и проходящей через стержень на расстоянии $a = l$ от одного из его концов. Определить магнитный момент P_m , обусловленный вращением стержня.

Дано:	Решение:
$l = 50$ см = 0,50 м $q = 60$ нКл = $60 \cdot 10^{-9}$ Кл $\nu = 12$ с ⁻¹ $a = l$	По определению магнитный момент плоского контура с током I равен: где \vec{n} – единичный вектор нормали к плоскости контура S . Выделим элемент стержня длиной dr с зарядом на нем dq . При вращении стержня относительно оси O элементарный круговой ток в данном случае определяется выражением
P_m -?	

где ν - частота вращения стержня. Магнитный момент элементарного кругового тока $dP_m = S \cdot dI$, где S – площадь, ограниченная окружностью, описываемой элементом стержня dr с зарядом dq ($S = \pi r^2$, где r – радиус этой окружности).

Тогда

$$dP_m = \pi^2 \cdot dI = \pi^2 \nu \cdot dq = \frac{\pi^2 \nu q \cdot dr}{\ell}$$

Магнитный момент P_m , обусловленный вращением стержня длиной ℓ вокруг оси O , определяем интегрированием двух частей

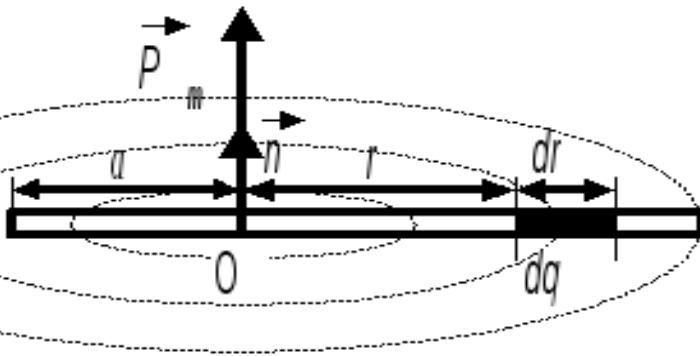


Рис. 25

стержня:
$$P_m = P_{m1} + P_{m2} = \int_0^x \frac{\pi^2 \nu q dr}{\ell} + \int_0^a \frac{\pi^2 \nu q dr}{\ell},$$

где $0, x = \ell - a = \ell - \frac{1}{3}\ell = \frac{2}{3}\ell$ и $a = \frac{1}{3}\ell$ – пределы интегрирования.

$$P_m = \frac{\pi \nu q}{\ell} \int_0^{\frac{2}{3}\ell} r^2 dr + \frac{\pi \nu q}{\ell} \int_0^{\frac{1}{3}\ell} r^2 dr = \frac{\pi \nu q}{\ell} \left[\frac{r^3}{3} \right]_0^{\frac{2}{3}\ell} + \left[\frac{r^3}{3} \right]_0^{\frac{1}{3}\ell} = \frac{\pi \nu q}{\ell} \left[\frac{8}{81} \ell^3 + \frac{\ell}{81} \ell^3 \right] = \frac{1}{9} \pi \nu q \ell^2$$

$$P_m = \frac{1}{9} \pi \nu q \ell^2$$

Произведем вычисления:

$$P_m = \frac{1}{9} \cdot 3,14 \cdot 12 \cdot 60 \cdot 10^{-9} \cdot (0,5)^2 = 62,8 \cdot 10^{-9} = 62,8 (\text{нА} \cdot \text{м}^2)$$

Ответ: $P_m = 62,8 \text{ нА} \cdot \text{м}^2$.

Пример №8. По тонкому стержню длиной $l = 50$ см равномерно распределен заряд $q = 60$ нКл. Стержень вращается с частотой $\nu = 12$ с⁻¹ относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через стержень на расстоянии $a = \frac{1}{3}l$ от одного из его концов. Определить магнитный момент P_m , обусловленный вращением стержня.

Дано:	Решение:
$l = 50$ см = 0,50 м $q = 60$ нКл = $60 \cdot 10^{-9}$ Кл $\nu = 12$ с ⁻¹ $a = \frac{1}{3}l$	По определению магнитный момент плоского контура с током I равен: $P_m = nIS,$ где n – единичный вектор нормали к плоскости контура S . Выделим элемент стержня длиной dr с зарядом на нем $dq = \frac{q}{l} \cdot dr$. При вращении стержня относительно оси O элементарный круговой ток в данном случае определяется выражением
$P_m = ?$	

$$dl = \frac{dq}{T} = \nu dq = \nu dq,$$

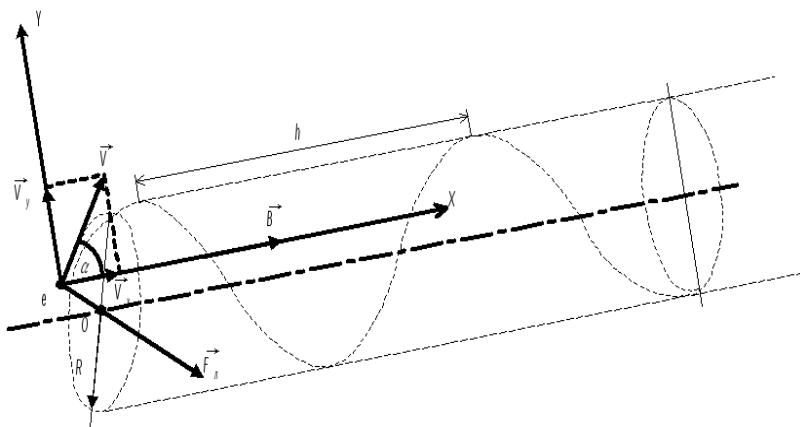


Рис. 33

Рисунок33

Сила Лоренца сообщает электрону нормальное

$$\text{ускорение } a_n = \frac{v_y^2}{R}.$$

Согласно второму закону Ньютона можно написать

$$F_L = m_e a_n, \text{ или}$$

$$|e|Bv_y = \frac{m_e v_y^2}{R}, \text{ откуда}$$

$$v_y = \frac{|e|BR}{m_e}. \text{ Период}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v_y}$$

обращения электрона связан с составляющей скорости v_x соотношением:

$$T = \frac{2\pi m_e}{|e|B}.$$

. Тогда получим:

Произведем вычисления:

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}} = 3,57 \cdot 10^{-9} \text{ с} = 3,57 \text{ нс}.$$

За время, равное периоду обращения T , электрон пройдет вдоль силовой линии расстояние, равное шагу винтовой линии, т.е. $h = T \cdot v_x$, откуда

$$v_x = \frac{h}{T} = \frac{|e|Bh}{2\pi m_e}.$$

Модуль скорости электрона

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{\left(\frac{|e|Bh}{2\pi m_e}\right)^2 + \left(\frac{|e|BR}{m_e}\right)^2} = \frac{|e|B}{m_e} \sqrt{\left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 + R^2}$$

П

Рис. 33

Рисунок 33

одставим числовые значения величин и произведем вычисления:

$$v = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \sqrt{\left(\frac{6 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3,14}\right)^2 + (10^{-2})^2} \text{ (м/с)} =$$

$$= 2,46 \cdot 10^7 \text{ м/с} = 24,6 \text{ Мм/с}$$

Ответ: $T = 3,57 \text{ нс}$, $v = 24,6 \text{ Мм/с}$.

Пример № 10. Катушка, содержащая $N = 1000$ витков, равномерно вращается с частотой $\nu = 10 \text{ с}^{-1}$ относительно оси AB , лежащей в плоскости катушки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0,04 \text{ Тл}$). Определить мгновенное значение ЭДС индукции для тех моментов времени, когда плоскость катушки составляет угол $\alpha = 60^\circ$ с линиями поля. Площадь катушки $S = 100 \text{ см}^2$.

Дано:	Решение:
$N = 1000$ $\nu = 10 \text{ с}^{-1}$ $B = 0,04 \text{ Тл}$ $\alpha = 60^\circ$ $S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$	По закону Фарадея-Ленца: $\varepsilon_i = - \frac{d\Psi}{dt}$. Потокосцепление $\Psi = N\Phi$, где N – число витков катушки, пронизываемых магнитным потоком Φ . $\varepsilon_i = - N \frac{d\Phi}{dt}$. Тогда получим: Магнитный поток, пронизывающий катушку в момент времени t , определяется по закону $\Phi = BS \cos \omega t$, где ω – угловая скорость вращения катушки ($\varepsilon = 2\pi\nu$).
$\varepsilon_i = ?$	

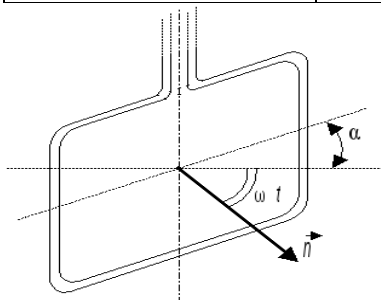


Рис. 34

Мгновенное значение ЭДС индукции:

$\varepsilon_i = - N(-\omega BS \sin \omega t) = \omega BSN \sin \omega t$. Если учесть, что

угол $\omega t = \frac{\pi}{2} - \alpha$ (рисунок), а $\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \cos \alpha$, то

получим: $\varepsilon_i = 2\pi\nu BSN \cos \alpha$. Проведем вычисления:

$$\varepsilon_i = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 0,04 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 \cdot \cos 60^\circ \text{ (В)} = 12,56 \text{ (В)}$$

Ответ: $\varepsilon_i = 12,56 \text{ В}$

Пример №9. Электрон движется в однородном магнитном поле ($B=10$ мТл) по винтовой линии, радиус которой $R = 1$ см и шаг $h = 6$ см. Определить период T обращения электрона и его скорость v .

Дано:	Решение:
$B = 10$ мТл = $10 \cdot 10^{-3}$ Тл $R = 1$ см = 10^{-2} м $h = 6$ см = $6 \cdot 10^{-2}$ м	Электрон будет двигаться по винтовой линии, если он влетает в однородное магнитное поле под некоторым углом ($\alpha \neq \frac{\pi}{2}$) к линиям магнитной индукции. Разложим, как показано на рисунке, скорость v электрона на две составляющие:
T -? v -?	

$$v = v_x + v_y.$$

По модулю $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$, где $v_x = v \cdot \cos \alpha$; $v_y = v \cdot \sin \alpha$.

На электрон действует сила Лоренца $F_n = |e|vB \sin \alpha = |e|Bv_y$

Попробуйте до решать задачу