

МАГНЕТИЗМ
Методические указания и контрольные задания для
самостоятельной работы студентов

Дарибазарон Э.Ч., Санеев Э.Л., Шагдаров В.Б.

Министерство образования РФ

ВОСТОЧНО-СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

РАЗДЕЛ: "МАГНЕТИЗМ"

Редактор Т.Ю.Артюнина

Подготовлено в печать 2001 г. Формат 60×80 1/16
Усл.п.л. 3,72; уч.-изд.л. 3,2; Тираж 150 экз.

РИО ВСГТУ, Улан-Удэ, Ключевская, 40а
Отпечатано на ротапинтере ВСГТУ, Улан-Удэ,
Ключевская, 42.

© Восточно-Сибирский государственный
технологический университет

Составители: Дарибазарон Э.Ч.,
Санеев Э.Л.,
Шагдаров В.Б.

Улан-Удэ 2002

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Электромагнетизм

Связь магнитной индукции B с напряженностью H магнитного поля:

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$$

где μ - магнитная проницаемость изотропной среды; μ_0 - магнитная постоянная.

В вакууме $\mu = 1$, и тогда магнитная индукция в вакууме

$$B = \mu_0 H$$

Закон Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} [d\vec{l}\vec{r}] \frac{I}{r^3} \quad \text{или} \quad dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \sin\alpha}{r^2} dl$$

где $d\vec{B}$ - магнитная индукция поля, создаваемого элементом проводника длиной dl с током I ; \vec{r} - радиус-вектор, направленный от элемента проводника к точке, в которой определяется магнитная индукция; α - угол между радиусом-вектором и направлением тока в элементе проводника.

Магнитная индукция в центре кругового тока:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}$$

где R - радиус кругового витка.

Магнитная индукция на оси кругового тока:

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{(R^2 + h^2)^{3/2}}$$

где h - расстояние от центра витка до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля прямого тока

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0}$$

где r_0 - расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется магнитная индукция.

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током (рис.1,а):

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

Обозначения ясны из рисунка. Направление вектора магнитной индукции \vec{B} обозначено точкой - это значит, что \vec{B} направлен перпендикулярно плоскости чертежа к нам.

При симметричном расположении концов провода относительно точки, в которой определяется магнитная индукция (рис.1,б):

$$-\cos\alpha_2 = \cos\alpha_1 = \cos\alpha,$$

тогда

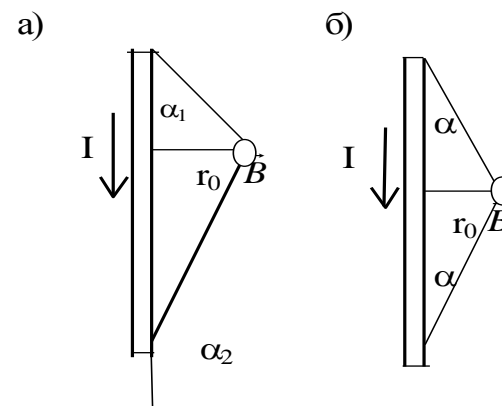


Рис.1

$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \frac{I}{r_0} \cos\alpha$$

Магнитная индукция поля соленоида

$$B = \mu\mu_0 nI$$

где n - отношение числа витков соленоида к его длине.

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (закон Ампера):

$$F = Il \sin \alpha$$

где l - длина проводника; α - угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции \vec{B} . Это выражение справедливо для однородного магнитного поля и прямого отрезка проводника. Если поле неоднородно и проводник не является прямым, то закон Ампера можно применить к каждому элементу проводника в отдельности:

$$d\vec{F} = I[d\vec{l} \times \vec{B}]$$

Магнитный момент плоского контура с током:

$$\vec{p}_m = \vec{n}IS$$

где \vec{n} - единичный вектор нормали (положительный) к плоскости контура; I - сила тока, протекающего по контуру; S - площадь контура.

Механический (вращательный) момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле:

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \times \vec{B}], \text{ или } M = p_m B \sin \alpha$$

где α - угол между векторами \vec{p}_m и \vec{B} .

Потенциальная энергия (механическая) контура с током в магнитном поле:

$$\Pi_{\text{мех}} = -p_m B, \text{ или } \Pi_{\text{мех}} = -p_m B \cos \alpha$$

Отношение магнитного момента \vec{p}_m к механическому \vec{L}_v (моменту импульса) заряженной частицы, движущейся по круговой орбите:

$$\frac{p_m}{L} = \frac{1}{2} \frac{Q}{m}$$

где Q - заряд частицы; m - масса частицы.

Сила Лоренца:

$$\vec{F} = Q[\vec{v} \times \vec{B}], \text{ или } F = QvB \sin \alpha$$

где \vec{v} - скорость заряженной частицы; α - угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

Магнитный поток:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности

$$\Phi = BS \cos \alpha \text{ или } \Phi = B_n S$$

где S - площадь контура; α - угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции;

б) в случае неоднородного поля и произвольной поверхности

$$\Phi = \int_S B_n dS$$

(интегрирование ведется по всей поверхности).

Потокосцепление (полный поток):

$$\psi = N\Phi$$

Эта формула верна для соленоида и тороида с равномерной катушкой плотно прилегающих друг к другу N витков.

Работа по перемещению контура в магнитном поле:

$$A = I\Delta\Phi$$

Э.д.с. индукции:

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью \vec{v} в магнитном поле:

$$U = Blv \sin \alpha$$

где l - длина проводника; α - угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

Заряд, протекающий по замкнутому контуру при изменении магнитного потока, пронизывающего этот контур:

$$Q = \frac{\Delta\Phi}{R} \text{ или } Q = \frac{N\Delta\Phi}{R} = \frac{\Delta\Psi}{R}$$

где R - сопротивление контура.

Индуктивность контура:

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

Э.д.с. самоиндукции:

$$E_S = -L \frac{dI}{dt}$$

Индуктивность соленоида:

$$L = \mu\mu_0 n^2 V$$

где n - отношение числа витков соленоида к его длине; V - объем соленоида.

Мгновенное значение силы тока в цепи, обладающей сопротивлением R и индуктивностью L :

а) $I = \frac{E}{R}(1 - e^{-Rt/L})$ (при замыкании цепи), где E - э.д.с.

источника тока; t - время, прошедшее после замыкания цепи;

б) $I = I_0 e^{-Rt/L}$ (при размыкании цепи), где I_0 - сила тока в

цепи при $t = 0$; t - время, прошедшее с момента размыкания цепи.

Энергия магнитного поля:

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

Объемная плотность энергии магнитного поля (отношение энергии магнитного поля соленоида к его объему):

$$w = \frac{BH}{2}, \text{ или } w = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}, \text{ или } w = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$$

где B - магнитная индукция; H - напряженность магнитного поля.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Два параллельных бесконечно длинных провода D и C , по которым текут в одном направлении электрические токи силой $I=60A$, расположены на расстоянии $d=10$ см друг от друга. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого проводниками с током в точке A (рис.1), отстоящей от оси одного проводника на расстоянии $r_1=5$ см, от другого - $r_2=12$ см.

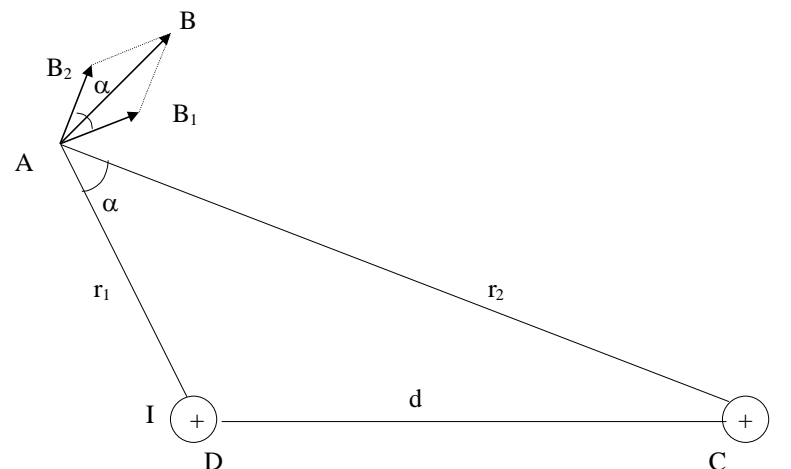


Рис.1

Решение: Для нахождения магнитной индукции B в точке A воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей. Для этого определим направления магнитных индукций B_1 и B_2 полей, создаваемых каждым проводником с током в отдельности, и сложим их векторно:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

Модуль вектора \vec{B} может быть найден по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha} \quad (1)$$

где α - угол между векторами \vec{B}_1 и \vec{B}_2 .

Магнитные индукции \vec{B}_1 и \vec{B}_2 выражаются соответственно через силу тока I и расстояния r_1 и r_2 от проводов до точки A :

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}$$

Подставляя выражения B_1 и B_2 в формулу (1) и вынося $\frac{\mu_0 I}{2\pi}$ за знак корня, получаем

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{2}{r_1 r_2} \cos \alpha} \quad (2)$$

Вычислим $\cos \alpha$. Заметив, что $\alpha = \angle DCA$ (как углы соответственно перпендикулярными сторонами), по теореме косинусов запишем

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \alpha$$

где d - расстояние между проводами. Отсюда

$$\cos \alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2}; \quad \cos \alpha = \frac{5^2 + 12^2 - 10^2}{2 \cdot 5 \cdot 12}$$

Подставим в формулу (2) числовые значения физических величин и произведем вычисления:

$$B = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 60}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{1}{(0,05)^2} + \frac{1}{(0,12)^2} + \frac{2}{0,05 \cdot 0,12} \cdot \frac{23}{40}} \text{ Тл} = 3,08 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}.$$

Пример 2. По тонкому проводящему кольцу радиусом $R=10$ см течет ток $I=80$ А. Найти магнитную индукцию \vec{B} в точке A , равноудаленной от всех точек кольца на расстояние $r=20$ см.

Решение: Для решения задачи воспользуемся законом Био-Савара-Лапласа:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I[d\vec{l} \cdot \vec{r}]}{r^2}$$

где \vec{B} - магнитная индукция поля, создаваемого элементом тока $I d\vec{l}$ в точке, определяемой радиусом-вектором \vec{r} .

Выделим на кольце элемент $d\vec{l}$ и от него в точку A проведем радиус-вектор \vec{r} (рис.2). Вектор \vec{B} направим в соответствии с правилом буравчика.

Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, магнитная индукция \vec{B} в точке A определяется интегрированием:

$$B = \int d\vec{B}$$

где интегрирование ведется по всем элементам $d\vec{l}$ кольца.

Разложим вектор \vec{B} на две составляющие: $d\vec{B}_\perp$, перпендикулярную плоскости кольца, и $d\vec{B}_\parallel$, параллельную плоскости кольца, т.е.

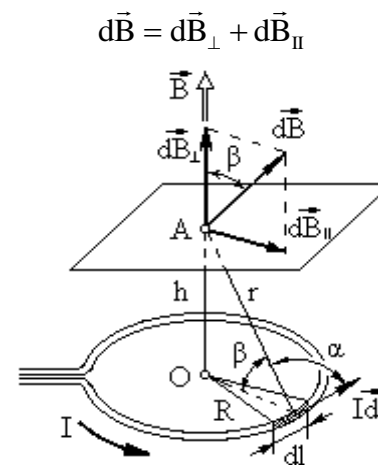


Рис.2.

Тогда

$$\vec{B} = \int_1 d\vec{B}_\perp + \int_1 d\vec{B}_\parallel$$

Заметив, что $\int_1 d\vec{B}_\parallel = 0$ из соображений симметрии и что

векторы $d\vec{B}_\perp$ от различных элементов $d\vec{l}$ сонаправлены, заменим векторное суммирование (интегрирование) скалярным:

$$B = \int_1 dB_\perp$$

где $dB_\perp = dB \cos\beta$ и $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2}$ (поскольку

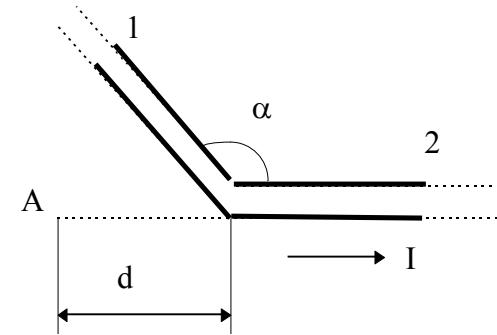
$d\vec{l}$ перпендикулярен \vec{r} и, следовательно, $\sin\alpha=1$). Таким образом,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} \cos\beta \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu_0 I \cos\beta \cdot 2\pi R}{4\pi r^2}$$

После сокращения на 2π и замены $\cos\beta$ на R/r (рис.2) получим

$$B = \frac{\mu_0 IR^2}{2r^3} \text{ или}$$

$$B = \frac{\mu_0 JR^2}{2(R^2 + h^2)^{3/2}},$$



где h – расстояние от плоскости кольца до точки А.

Проверим, дает ли правая часть равенства единицу магнитной индукции (Тл):

$$\frac{[\mu_0][I][R^2]}{[r^3]} = \frac{1\text{Гн} \cdot 1\text{А} \cdot 1\text{м}^2}{\text{м} \cdot 1\text{м}^3} = \frac{1\text{Гн} \cdot 1\text{А}^2}{1\text{А} \cdot 1\text{м}^2} = \frac{1\text{Дж}}{1\text{А} \cdot 1\text{м}^2} =$$

$$= \frac{1\text{н} \cdot 1\text{м}}{1\text{А} \cdot 1\text{м}^2} = 1\text{Тл}.$$

Здесь мы воспользовались определяющей формулой для магнитной индукции:

$$B = \frac{M}{P_m}$$

Тогда

$$1\text{Тл} = \frac{1\text{н} \cdot 1\text{м}}{1\text{А} \cdot 1\text{м}^2}$$

Выразим все величины в единицах СИ и произведем вычисления:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 80 \cdot (0,1)^2}{2 \cdot (0,2)^3} \text{Тл} = 6,28 \cdot 10^{-5} \text{Тл}, \text{ или } B=62,8 \text{ мкТл}.$$

Вектор \vec{B} направлен по оси кольца (пунктирная стрелка на рис) в соответствии с правилом буравчика.

Пример 3. Длинный провод с током $I=50$ А изогнут под углом $\alpha=2\pi/3$. Определить магнитную индукцию B в точке А (рис.3). Расстояние $d=5$ см.

Решение: Изогнутый провод можно рассматривать как два длинных провода, концы которых соединены в точке О (рис.4). В соответствии с принципом суперпозиции магнитных полей маг-

Рис.3.

нитная индукция B в

точке А будет равна векторной сумме магнитных индукций \vec{B}_1 и \vec{B}_2 полей, создаваемых отрезками длинных проводов 1 и 2,

т.е. $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$. Магнитная индукция B_2 равна нулю. Это следует из закона Био-Савара-Лапласа, согласно которому в точках, лежащих на оси провода, $d\vec{B} = 0$ ($[d\vec{l}\vec{r}] = 0$).

Магнитную индукцию B_1 найдем, воспользовавшись соотношением (3), найденным в примере 1:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

где r_0 - кратчайшее расстояние от провода 1 до точки А (рис.4).

В нашем случае $\alpha_1 \rightarrow 0$ (провод длинный), $\alpha_2 = \alpha = 2\pi/3$ ($\cos\alpha_2 = \cos(2\pi/3) = -1/2$). Расстояние $r_0 = d \sin(\pi - \alpha) = d \sin(\pi/3) = d \sqrt{3}/2$. Тогда магнитная индукция

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi d \sqrt{3}/2} (1 + 1/2)$$

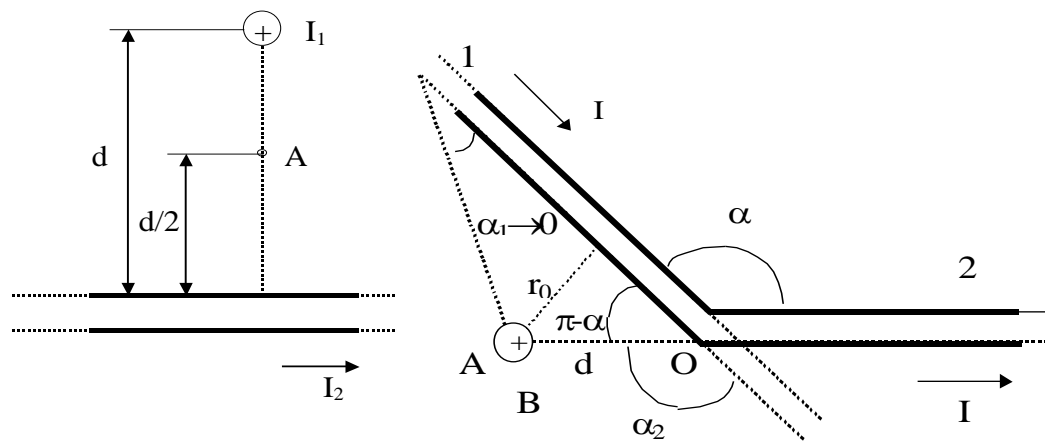


Рис.4.

Так как $B = B_1$ ($B_2 = 0$), то

$$B = \frac{\sqrt{3}\mu_0 I}{4\pi d}$$

Вектор \vec{B} сонаправлен с вектором \vec{B}_1 и определяется правилом правого винта. На рис.4 это направление отмечено крестиком в кружочке (перпендикулярно плоскости чертежа, от нас).

Проверка размерности аналогична выполненной в примере 2. Произведем вычисления:

$$B = \frac{\sqrt{3} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 50}{4\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2}} \text{Тл} = 3,46 \cdot 10^{-5} \text{Тл} = 34,6 \text{мкТл}$$

Пример 4. Два бесконечно длинных провода скрещены под прямым углом (рис.5). По проводам текут токи $I_1 = 80$ А и $I_2 = 60$ А. Расстояние d между проводами равно 10 см. Определить магнитную индукцию \vec{B} в точке А, одинаково удаленной от обоих проводов.

Решение. В соответствии с принципом суперпозиции магнитных полей магнитная индукция \vec{B} поля, создаваемого токами I_1 и I_2 , определяется выражением $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$, где \vec{B}_1 - магнитная индукция поля, созданного в точке А током I_1 ; \vec{B}_2 - магнитная индукция поля, созданного в точке А током I_2 .

Рис.5. Заметим, что векторы \vec{B}_1 и \vec{B}_2 взаимно перпендикулярны (их направления находятся по правилу буравчика и изображены в двух проекциях на рис.6). Тогда модуль вектора \vec{B} можно определить по теореме Пифагора:

$$B = |\vec{B}| = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$$

где B_1 и B_2 определяются по формулам расчета магнитной индукции для бесконечно длинного прямолинейного провода с током:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_0} \text{ и } B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_0}$$

В нашем случае $r_0 = d/2$. Тогда

$$B = \frac{\mu_0}{\pi d} \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$

Проверка размерности аналогична выполненной в примере 2. Произведем вычисления:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{\pi \cdot 10^{-1}} \sqrt{80^2 + 60^2} \text{ Тл} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Тл} = 400 \text{ мкТл}$$

Рис.6

Пример 5. Бесконечно длинный провод изогнут так, как это изображено на рис. 7. Радиус R дуги окружности равен 10 см. Определить магнитную индукцию \vec{B} поля, создаваемого в точке O током $I = 80$ А, текущим по этому проводу.

Решение. Магнитную индукцию \vec{B} в точке O найдем, используя принцип суперпозиции магнитных полей:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i$$

(рис.8): два прямолинейных провода (1 и 3), одним концом уходящие в бесконечность, и дугу полуокружности (2) радиуса R . Тогда

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$$

где $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$ - магнитные индукции в точке O , создаваемые током, текущим соответственно на первом, втором и третьем участках провода.

Так как точка O лежит на оси провода 1, то $B_1 = 0$ и тогда

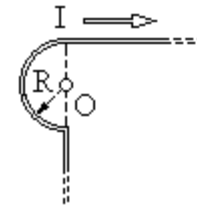


Рис.7.

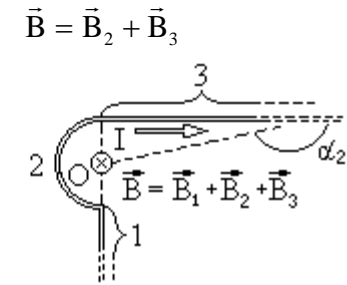
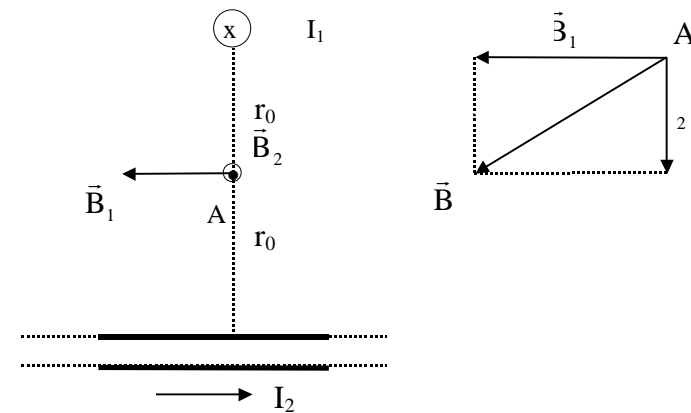


Рис.8.



Учитывая, что векторы \vec{B}_2 и \vec{B}_3 направлены в соответствии с правилом буравчика перпендикулярно плоскости чертежа от нас, то векторное суммирование можно заменить алгебраическим:

$$B = B_2 + B_3$$

Магнитную индукцию B_2 найдем, воспользовавшись выражением для магнитной индукции в центре кругового тока:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

В нашем случае магнитное поле в точке O создается лишь половиной такого кругового тока, поэтому

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{4R}$$

Магнитную индукцию \vec{B}_3 найдем по формуле:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

В нашем случае $r_0 = R$, $\alpha_1 = \pi/\alpha$ ($\cos\alpha_1 = 0$), $\alpha_2 \rightarrow \pi$ ($\cos\alpha_2 = -1$). Тогда

$$B_3 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$$

Используя найденные выражения для B_2 и B_3 , получим

$$B = B_2 + B_3 = \frac{\mu_0 I}{4R} + \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$$

или

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (\pi + 1)$$

Проверка размерности аналогична выполненной в примере 2.

Произведем вычисления:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 80}{4\pi \cdot 0,1} (\pi + 1) \text{Тл} = 3,31 \cdot 10^{-4} \text{Тл},$$

или

$$B = 33 \text{ мкТл}$$

Пример 6. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов $U = 600 \text{ В}$, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,3 \text{ Тл}$ и начал двигаться по окружности. Вычислить радиус R окружности.

Решение. Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле будет происходить по окружности только в том случае, когда частица влетит в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции $\vec{v} \perp \vec{B}$. Так как сила Лоренца \vec{F}_L перпендикулярна вектору \vec{v} , то она сообщит частице (протону) нормальное ускорение a_n .

Согласно второму закону Ньютона,

$$\vec{F}_L = m\vec{a}_n \quad (1)$$

где m - масса протона.

На рис. 9 совмещена траектория протона с плоскостью чертежа и дано (произвольно) направление вектора \vec{v} . Силу Лоренца направим перпендикулярно вектору \vec{v} к центру окружности (векторы \vec{a}_n и \vec{F}_L сонаправлены). Используя правило левой руки, определим направление линий индукции (направление вектора \vec{B}).

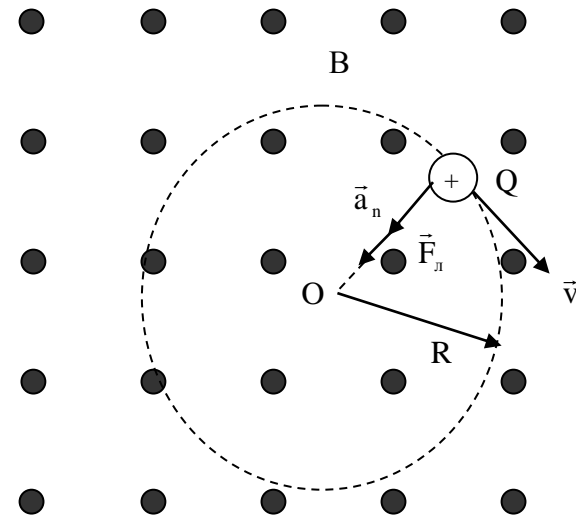


Рис.9.

Перепишем выражение (1) в скалярной форме (в проекции на радиус):

$$F_{\text{л}} = ma_n \quad (2)$$

В скалярной форме $F_{\text{л}} = QvB \sin \alpha$. В нашем случае $\vec{v} \perp \vec{B}$ и $\sin \alpha = 1$, тогда $F_{\text{л}} = QvB$. Так как нормальное ускорение $a_n = v^2/R$, то выражение (2) перепишем следующим образом:

$$QvB = mv^2/R$$

Отсюда находим радиус окружности:

$$R = mv/(QB)$$

Заметив, что mv есть импульс протона (p), это выражение можно записать в виде

$$R = p/(QB) \quad (3)$$

Импульс протона найдем, воспользовавшись связью между работой сил электрического поля и изменением кинетической энергии протона, т.е. $A = \Delta T$, или

$$Q(\varphi_1 - \varphi_2) = T_2 - T_1$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ - ускоряющая разность потенциалов (или ускоряющее напряжение U); T_1 и T_2 - начальная и конечная кинетические энергии протона.

Пренебрегая начальной кинетической энергией протона ($T_1 \approx 0$) и выразив кинетическую энергию T_2 через импульс p , получим

$$QU = p^2/(2m)$$

Найдем из этого выражения импульс $p = \sqrt{2mQU}$ и подставим его формулу (3):

$$R = \frac{\sqrt{2mQU}}{QB},$$

или

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{2mU/Q} \quad (4)$$

Убедимся в том, что правая часть равенства дает единицу длины (м):

$$\frac{[m^{1/2}][U^{1/2}]}{[B][Q^{1/2}]} = \frac{1}{1\text{Тл}} \left(\frac{1\text{кг} \cdot 1\text{В}}{1\text{Кл}} \right)^{1/2} = \frac{(1\text{кг})^{1/2} \cdot 1\text{А} \cdot \text{м}^2 (\text{Дж})^{1/2}}{1\text{Дж} \cdot 1\text{Кл}} =$$

$$= \frac{(1\text{кг})^{1/2} \cdot \text{м}^2}{(\text{Дж})^{1/2} \cdot 1\text{с}} = \frac{(1\text{кг})^{1/2} \cdot \text{м}^2}{(1\text{кг})^{1/2} \cdot \text{м} / \text{с} \cdot \text{с}} = 1\text{м}.$$

Подставим в формулу (4) числовые значения физических величин и произведем вычисления:

$$R = \frac{1}{0,3} \sqrt{\frac{2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 600}{1,6 \cdot 10^{-19}}} \text{м} = 0,0118\text{м} = 11,8\text{мм}$$

Пример 7. Электрон, влетев в однородное магнитное поле ($B = 0,2$ Тл), стал двигаться по окружности радиуса $R = 5$ см. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.

Решение. Электрон начинает двигаться по окружности, если он влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. На рис.10 линии магнитной индукции перпендикулярны плоскости чертежа и направлены “от нас” (обозначены крестиками).

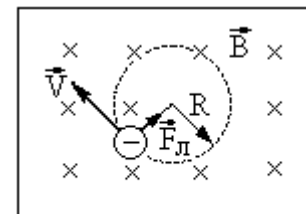


Рис.10.

Движение электрона по окружности эквивалентно круговому току, который в данном случае определяется выражением

$$I_{\text{экв}} = \frac{|e|}{T}$$

где e - заряд электрона; T - период его обращения.

Период обращения можно выразить через скорость электрона v и путь, проходимый электроном за период $T = v/(2\pi R)$. Тогда

$$I_{\text{экв}} = |e| v / (2\pi R) \quad (1)$$

Зная $I_{\text{экв}}$, найдем магнитный момент эквивалентного кругового тока. По определению, магнитный момент контура с током выражается соотношением

$$p_m = I_{\text{экв}} S \quad (2)$$

где S - площадь, ограниченная окружностью, описываемой электроном ($S = \pi R^2$).

Подставив $I_{\text{экв}}$ из (1) в выражение (2), получим

$$p_m = \frac{|e| v}{2\pi R} \pi R^2$$

Сократим на πR и перепишем это выражение в виде:

$$p_m = \frac{1}{2} |e| v R \quad (3)$$

В полученном выражении известной является скорость электрона, которая связана с радиусом R окружности, по которой он движется, соотношением $R = mv/(QB)$ (см. пример 6). Заменив Q на $|e|$, найдем интересующую нас скорость $v = |e|BR/m$ и подставим ее в формулу (3):

$$p_m = \frac{|e|^2 |B R^2|}{2m}$$

Убедимся в том, что правая часть равенства дает единицу измерения магнитного момента ($A \cdot m^2$):

$$\frac{[e^2][B][R^2]}{[m]} = \frac{(1\text{Кл})^2 \cdot 1\text{Тл} \cdot (1\text{м})^2}{1\text{кг}} = \frac{(1\text{Кл})^2 \cdot 1\text{Н}}{1\text{кг} \cdot 1\text{А} \cdot \text{м}} =$$

$$= \frac{(1\text{А})^2 \cdot \text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{1\text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^2} = 1\text{А} \cdot \text{м}^2$$

Произведем вычисления:

$$p_m = \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 0,2 \cdot (0,05)^2}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}} \text{А} \cdot \text{м}^2 = 7,03 \cdot 10^{-12} \text{А} \cdot \text{м}^2 = 7,03 \text{нА} \cdot \text{м}^2$$

Пример 8. Электрон движется в однородном магнитном поле ($B = 10$ мТл) по винтовой линии, радиус R которой равен 1 см и шаг $h = 6$ см. Определить период T обращения электрона и его скорость v .

Решение. Электрон будет двигаться по винтовой линии, если он влетает в однородное магнитное поле под некоторым углом ($\alpha \neq \pi/2$) к линиям магнитной индукции. Разложим, как это показано на рис.11, скорость v электрона на две составляющие: параллельную вектору, v_{\parallel} , и перпендикулярную ему, v_{\perp} . Скорость v_{\parallel} в магнитном поле не изменяется и обеспечивает перемещение электрона вдоль силовой линии. Скорость v_{\perp} в результате действия силы Лоренца будет изменяться только по направлению ($\vec{F}_L \perp \vec{v}_{\perp}$) (в отсутствие параллельной составляющей, $v_{\parallel} = 0$, движение электрона происходило бы по окружности в плоскости, перпендикулярной линиям индукции). Таким образом, электрон будет участвовать одновременно в двух движениях: равномерном перемещении со скоростью v_{\parallel} и равномерном движении по окружности со скоростью v_{\perp} .

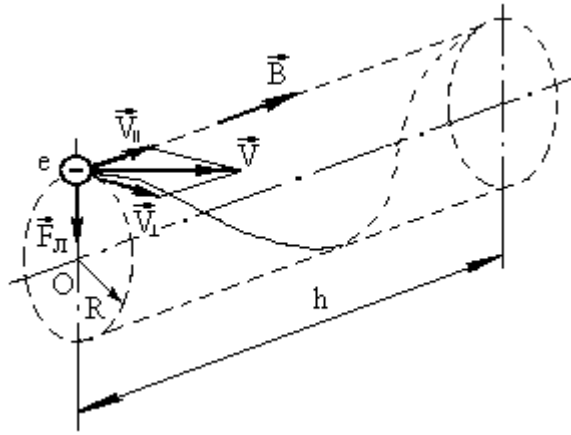


Рис.11.

Период обращения электрона связан с перпендикулярной составляющей скорости соотношением:

$$T = 2\pi R / v_{\perp} \quad (1)$$

Найдем отношение R/v_{\perp} . Для этого воспользуемся тем, что сила Лоренца сообщает электрону нормальное ускорение $a_n = v_{\perp}^2 / R$. Согласно второму закону Ньютона можно написать

$$F_L = ma_n,$$

или

$$|e| v_{\perp} B = m v_{\perp}^2 / R \quad (2)$$

где $v_{\perp} = v \sin \alpha$.

Сократив (2) на v_{\perp} , выразим соотношение R/v_{\perp} ($R/v_{\perp} = m/|e|B$) и подставим его в формулу (1):

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

Убедимся в том, что правая часть равенства дает единицу времени (с):

$$\frac{[m]}{[e][B]} = \frac{1\text{кг}}{1\text{Кл} \cdot 1\text{Тл}} = \frac{1\text{кг} \cdot \text{А} \cdot \text{м}^2}{1\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \frac{1\text{кг} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^2}{1\text{с} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^2} = 1\text{с}$$

Произведем вычисления:

$$T = \frac{2\pi \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 3,57 \cdot 10^{-9} \text{с} = 3,57 \text{нс}$$

Модуль скорости v , как это видно из рис.11, можно выразить через v_{\perp} и v_{\parallel} :

$$v = \sqrt{v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2}$$

Из формулы (2) выразим перпендикулярную составляющую скорости:

$$v_{\perp} = \frac{|e| BR}{m}$$

Параллельную составляющую скорости v_{\parallel} найдем из следующих соображений. За время, равное периоду обращения T , электрон пройдет в направлении магнитного поля расстояние, равное шагу винтовой линии, т.е. $h = T v_{\parallel}$, откуда

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

Подставив вместо T правую часть выражения (2), получим

$$v_{\parallel} = \frac{|e| Bh}{2\pi m}$$

Таким образом, модуль скорости электрона

$$v = \sqrt{v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2} = \frac{|e| B}{m} \sqrt{R^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}$$

Убедимся в том, что правая часть равенства дает единицу скорости (м/с). Для этого заметим, что R и h имеют одинаковую единицу измерения - метр (м). Поэтому в квадратных скобках мы поставим только одну из величин (например, R):

$$\frac{[e][B]}{[m]} [R^2]^{1/2} = \frac{1\text{Кл} \cdot 1\text{Тл}}{1\text{кг}} (\text{м}^2)^{1/2} = \frac{1\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{кг} \cdot \text{А} \cdot \text{м}^2} =$$

$$= \frac{1\text{Н} \cdot \text{с}}{1\text{кг}} = \frac{1\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{1\text{кг} \cdot \text{с}^2} = 1\text{м} / \text{с}$$

Произведем вычисления:

$$v = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left[(0,01)^2 + \left(\frac{0,06}{2\pi} \right)^2 \right]^{1/2} \text{ м/с} =$$

$$= 2,46 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

или 24,6 Мм/с.

Пример 9. Короткая катушка, содержащая $N = 10^3$ витков, равномерно вращается с частотой $n = 10 \text{ с}^{-1}$ относительно оси АВ, лежащей в плоскости катушки и перпендикулярной линиям 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 S катушки равна 100 см^2 .

Решение. Мгновенное значение ЭДС индукции ε_i определяется основным уравнением электромагнитной индукции Фарадея-Максвелла:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\psi}{dt} \quad (1)$$

Потокосцепление $\Psi = N\Phi$, где N - число витков катушки, пронизываемых магнитным потоком Φ . Подставив выражение Ψ в формулу (1), получим

$$\varepsilon_i = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

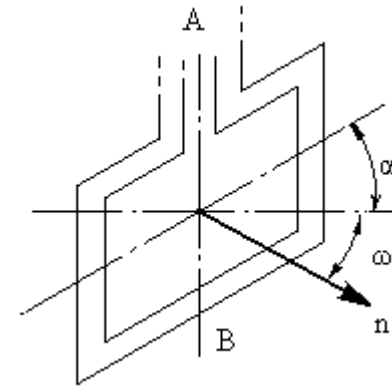


Рис.12

При вращении катушки магнитный поток Φ , пронизывающий катушку в момент времени t , изменяется по закону $\Phi = BS \cos \omega t$, где B - магнитная индукция; S - площадь катушки; ω - угловая скорость катушки. Подставив в формулу (2) выражение магнитного потока Φ и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\varepsilon_i = NBS\omega \sin \omega t$$

Заметив, что угловая скорость ω связана с частотой вращения n катушки соотношением $\omega = 2\pi n$ и что угол $\omega t = \pi/2 - \alpha$ (рис.11), получим (учтено, что $\sin(\pi/2 - \alpha) = \cos \alpha$)

$$\varepsilon_i = 2\pi n NBS \cos \alpha$$

Убедимся в том, что правая часть этого равенства дает единицу ЭДС (В):

$$[n][B][S] = \frac{1\text{Тл} \cdot 1\text{м}^2}{1\text{с}} = \frac{1\text{Н} \cdot \text{м}^2}{1\text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{с}} = \frac{1\text{Дж}}{1\text{Кл}} = 1\text{В}$$

Произведем вычисления:

$$\varepsilon_i = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0,04 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5\text{В} = 25,1\text{В}$$

Пример 10. Квадратная проволочная рамка со стороной $a = 5 \text{ см}$ и сопротивлением $R = 10 \text{ мОм}$ находится в однородном магнитном поле ($B = 40 \text{ мТл}$). Нормаль к плоскости рамки составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с линиями магнитной

индукции. Определить заряд Q , который пройдет по рамке, если магнитное поле выключить.

Решение. При выключении магнитного поля произойдет изменение магнитного потока. Вследствие этого в рамке возникнет ЭДС индукции, определяемая основным законом электромагнитной индукции

$$E_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Возникшая ЭДС индукции вызовет в рамке индукционный ток, мгновенное значение которого можно определить воспользовавшись законом Ома для полной цепи $I_i = \varepsilon_i/R$, где R - сопротивление рамки. Тогда

$$I_i R = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Так как мгновенное значение силы индукционного тока

$I_i = \frac{dQ}{dt}$, то выражение можно переписать в виде

$$\frac{dQ}{dt} R = -\frac{d\Phi}{dt}, \text{ откуда } dQ = -\frac{d\Phi}{R} \quad (1)$$

Проинтегрировав выражение (1), найдем

$$\int_0^Q dQ = -\frac{1}{R} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi, \text{ или } Q = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}$$

Заметим, что при выключенном поле (конечное состояние) $\Phi_2 = 0$, последнее равенство переписывается в виде

$$Q = \Phi_1 / R \quad (2)$$

Найдем магнитный поток Φ_1 . По определению магнитного потока имеем

$$\Phi_1 = BS \cos \alpha$$

где S - площадь рамки.

В нашем случае (рамка квадратная) $S = a^2$. Тогда

$$\Phi_1 = Ba^2 \cos \alpha \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), получим

$$Q = \frac{Ba^2}{R} \cos \alpha$$

Убедимся в том, что правая часть этого равенства дает единицу заряда (Кл):

$$\frac{[B][a^2]}{[R]} = \frac{1\text{Тл} \cdot (1\text{м}^2)}{1\text{Ом}} = \frac{1\text{Н} \cdot \text{м}^2}{1\text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{Ом}} = \frac{1\text{Дж}}{1\text{В}} = 1\text{Кл}$$

Произведем вычисления:

$$Q = \frac{0,04 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot \sqrt{3}/2}{0,01} \text{ Кл} = 8,67 \cdot 10^{-3} \text{ Кл} = 8,67 \text{ мКл}$$

Пример 11. Плоский квадратный контур со стороной $a = 10$ см, по которому течет ток $I = 100$ А, свободно установился в однородном магнитном поле ($B = 1$ Тл). Определить работу A , совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол: 1) $\varphi = 90^\circ$; $\varphi = 3^\circ$. При повороте контура сила тока в нем поддерживается неизменной.

Решение. Как известно, на контур с током в магнитном поле действует момент силы (рис.10).

$$M = p_m B \sin \varphi \quad (1)$$

где $p_m = IS = Ia^2$ - магнитный момент контура; B - магнитная индукция; φ - угол между векторами \vec{p}_m (направлен по нормали к контуру) и \vec{B} .

По условию задачи в начальном положении контур свободно установился в магнитное поле. При этом момент силы равен нулю ($M = 0$), а значит, $\varphi = 0$, т.е. векторы \vec{p}_m и \vec{B} сонаправлены. Если внешние силы выведут контур из положения равновесия, то возникший момент сил (рис.11) будет стремиться возвратить контур в исходное положение. Против этого момента и будет совершаться работа внешними силами. Так как момент сил переменный (зависит от угла

поворота φ), то для подсчета работы применим формулу работы в дифференциальной форме $dA = M d\varphi$. Учитывая формулу (1), получаем

$$dA = I B a^2 \sin \varphi d\varphi$$

Взяв интеграл от этого выражения, найдем работу при повороте на конечный угол:

$$A = I B a^2 \int_0^{\varphi} \sin \varphi d\varphi \quad (2)$$

Работа при повороте на угол $\varphi_1 = 90^\circ$

$$A_1 = I B a^2 \int_0^{\pi/2} \sin \varphi d\varphi = I B a^2 |(-\cos \varphi)|_0^{\pi/2} = I B a^2 \quad (3)$$

Выразим числовые значения величин в единицах СИ ($I = 100 \text{ А}$, $B = 1 \text{ Тл}$, $a = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$) и подставим в (3):

$$A_1 = 100 \cdot 1 \cdot (0,1)^2 \text{ Дж} = 1 \text{ Дж}$$

Работа при повороте на угол $\varphi_2 = 3^\circ$. В этом случае, учитывая, что угол φ_2 мал, заменим в выражении (2) $\sin \varphi \approx \varphi$:

$$A_2 = I B a^2 \int_0^{\varphi_2} \varphi d\varphi = \frac{1}{2} I B a^2 \varphi_2^2 \quad (4)$$

Выразим угол φ_2 в радианах. После подстановки числовых значений величин в (4) найдем

$$A_2 = \frac{1}{2} 100 \cdot 1 \cdot (0,1)^2 \cdot (0,0523)^2 \text{ Дж} = 1,37 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 1,37 \text{ мДж}$$

Задачу можно решить и другими способами:

1. Работа внешних сил по перемещению контура с током в магнитном поле равна произведению силы тока в контуре на изменение магнитного потока, пронизывающего контур:

$$A = -I \Delta \Phi = I(\Phi_1 - \Phi_2)$$

где Φ_1 - магнитный поток, пронизывающий контур до перемещения; Φ_2 - то же, после перемещения.

Если $\varphi = 90^\circ$, то $\Phi_1 = BS$, $\Phi_2 = 0$. Следовательно,
 $A = IBS = I B a^2$

что совпадает с (3).

2. Воспользуемся выражением для механической потенциальной энергии контура с током в магнитном поле

$$\Pi(\varphi) = -p_m B \cos \varphi$$

Тогда работа внешних сил

$$A = \Delta \Pi = \Pi_2 - \Pi_1 \text{ или } A = p_m B (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$$

Так как $p_m = I a^2$, $\cos \varphi_1 = 1$ и $\cos \varphi_2 = 0$, то

$$A = I B a^2$$

что также совпадает с (3).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Магнитное поле в вакууме

1. Что называется индукцией магнитного поля в данной точке? Что такое собственный магнитный момент контура с током? Какое направление имеет собственный магнитный момент контура с током? Как проводят линии магнитной индукции?
2. Сформулируйте и поясните закон Био-Савара-Лапласа. Как применить этот закон к расчету индукции магнитного поля, создаваемого бесконечно длинным проводником с током? Какой вид имеют линии магнитной индукции в данном случае? Как определить в данной точке направление вектора индукции магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником с током?
3. Как рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого полубесконечным прямолинейным проводником с током и прямолинейным проводником с током конечной длины?
4. Как применить закон Био-Савара-Лапласа к расчету индукции магнитного поля на оси кругового тока? Как определить направление магнитной индукции на оси кругового тока? Какой вид имеют линии магнитной индукции в этом случае?
5. Как рассчитать индукцию магнитного поля в точке, через которую проходят оси нескольких круговых токов?
6. Сформулируйте принцип суперпозиции полей. Поясните, каким образом, используя этот принцип, можно рассчитать индукцию магнитного поля, создаваемого линейными токами различных конфигураций?

7. Запишите и сформулируйте закон полного тока для магнитного поля в вакууме. Что можно сказать о поле вектора, циркуляция которого не равна нулю?
8. Как применить закон полного тока к расчету индукции магнитного поля длинного соленоида и тороида? Что называют числом ампер-витков? Сколько витков можно намотать на единицу длины соленоида, если витки плотно прилегают друг к другу? Для чего приходится наматывать несколько слоев обмотки?
9. Как применить закон полного тока для магнитного поля в вакууме для расчета симметричных магнитных полей?
10. Если магнитное поле не является симметричным, а токи, порождающие его, не являются линейными, как можно рассчитать индукцию магнитного поля в заданных точках? Как применить в этом случае принцип суперпозиции полей?

Действие магнитного поля на движущийся заряд. Проводник и контур с током в магнитном поле

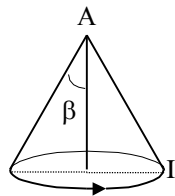
1. Какая сила действует на движущийся заряд в магнитном поле? Чему она равна? Куда направлена? Вспомните, что называется моментом импульса материальной точки. Чему равны и куда направлены нормальная и тангенциальная составляющие ускорения? Чему равен период обращения материальной точки при вращательном движении?
2. В каком случае заряженная частица, влетающая в магнитное поле, будет двигаться по винтовой линии? От чего зависит радиус витка? Как его определить? Как рассчитать шаг винтовой линии? От чего он зависит?
3. Какая сила удерживает материальную точку на круговой орбите? Что играет роль этой силы в случае

- движения заряженной частицы в магнитном поле. Из каких условий можно найти скорость движения заряженной частицы по винтовой траектории и ее кинетическую энергию?
4. В чем состоит эффект Холла? Чему равна возникающая при этом поперечная разность потенциалов? Как постоянная Холла связана с концентрацией носителей заряда? Если концентрация электронов проводимости равна концентрации атомов в металле, то как подсчитать концентрацию атомов?
 5. Существуют ли различия при возникновении эффекта Холла в металлах и полупроводниках? Что является носителем заряда в полупроводниках?
 6. Какая сила действует на проводник с током в магнитном поле? Как определить ее величину и направление?
 7. Что называется моментом силы? Чему он равен? В каком случае на контур с током, помещенный в магнитное поле, действует вращающий момент сил? Когда момент сил, действующих на контур с током, равен нулю?
 8. Что называется магнитным потоком через выбранную площадку? Как его определяют? Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса для магнитного поля.
 9. Сформулируйте закон Ампера для параллельных проводников с током. Как, применяя этот закон, получить выражение для работы, которую необходимо совершить, чтобы изменить расстояние между проводниками?
 10. Чему равна работа перемещения проводника и контура с током в магнитном поле? Как определить работу при повороте контура на некоторый угол? Когда работа будет положительной, а когда – отрицательной?

Магнитное поле в веществе. Электромагнитная индукция. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля

1. Что называется намагниченностью вещества? Как вектор намагничивания связан с суммарным магнитным моментом магнетика определенного объема? Что такое магнитная восприимчивость вещества? Какая связь существует между магнитной восприимчивостью и намагниченностью вещества? Как связана напряженность магнитного поля с индукцией магнитного поля в веществе? Что называется абсолютной и относительной магнитными проницаемостями магнетика? Как связана относительная магнитная проницаемость вещества с его магнитной восприимчивостью? По каким параметрам различают типы магнетиков?
2. Сформулируйте закон полностью тока для магнитного поля в веществе. Какая связь существует: а) между нормальными составляющими индукции магнитного поля; и б) нормальными составляющими напряженности магнитного поля на границе раздела двух магнетиков?
3. Какая связь существует между тангенциальными составляющими магнитного поля на границе раздела двух магнетиков? Запишите закон преломления линий магнитной индукции на границе раздела двух магнетиков.
4. В чем состоит явление электромагнитной индукции? Сформулируйте закон электромагнитной индукции. Сформулируйте закон Ленца.
5. В каком случае ЭДС индукции будет максимальной? При каком положении контура его вращение не приводит к изменению магнитного потока, пронизывающего контур?

6. Что называется потокоцеплением? Во сколько раз ЭДС индукции в рамке, содержащей N витков, отличается от ЭДС индукции в контуре такой же площади, состоящем из одного витка?
7. В чем заключается явление самоиндукции? Чему равна ЭДС самоиндукции? Что называется индуктивностью? В каких единицах они измеряется? В каких случаях индуктивность соленоида остается постоянной? Когда индуктивность зависит от силы тока в обмотке соленоида? Чему в последнем случае равна ЭДС самоиндукции? Чему равна энергия контура с током? Как определить энергию нескольких связанных между собой контуров? Что такое объемная плотность энергии и как ее определить?
8. По какому закону убывает ток при размыкании цепи? Что называют постоянной времени цепи (временем релаксации)? Почему ток при замыкании и размыкании цепи меняется не мгновенно, а постепенно?
9. Что лежит в основе теории Максвелла для электромагнитного поля? Что называется током смещения? Как определить его величину?
10. Запишите уравнения Максвелла и поясните их.



При изучении раздела “Магнетизм” студентам для самостоятельного решения предлагаются следующие задачи:

1.1 По круговому витку радиусом 100 мм циркулирует ток силы.

1.0. А. Найти магнитную индукцию: а) в центре витка; б) на оси витка на расстоянии 100 мм от его центра.

1.2. Какова магнитная индукция в центре тонкого кольца, по которому идет ток 10 А? Радиус кольца 5 см.

1.3. По обмотке очень короткой катушки (кольца) радиусом 16 см течет ток силой 5 А. Сколько витков проволоки намотано на катушку, если напряженность магнитного поля в ее центре 800 А/м?

1.4. По проводнику в виде тонкого кольца радиусом 10 см течет ток. Чему равна сила этого тока, если индукция магнитного поля в точке А (см. рис) равна 10^{-5} Тл? Угол $\beta = 10^\circ$.

1.5. По тонкому проводу, изогнутому в виде прямоугольника, течет ток 60 А. Стороны прямоугольника 30 см и 40 см. Какое значение имеет магнитная индукция в точке пересечения диагоналей?

1.6. Напряженность магнитного поля в центре кругового витка радиусом 8 см равна 30 А/м. Определить напряженность поля на оси витка в точке, расположенной на расстоянии 6 см от центра витка.

1.7. Катушка длиной 20 см содержит 200 витков. По обмотке катушки идет ток 5 А. Диаметр катушки 20 см. Определить магнитную индукцию в точке, лежащей на оси катушки на расстоянии 10 см от ее конца.

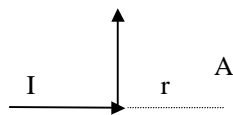
1.8. Длинный прямой соленоид из проволоки диаметром 0,5 мм намотан так, что витки плотно прилегают друг к другу. Какова напряженность магнитного поля внутри соленоида при силе тока 4 А? Толщиной изоляции пренебречь.

1.9. По тонкому проводящему кольцу радиусом 5 см течет ток 10 А. Найти магнитную индукцию в точке, находящейся на оси кольца на расстоянии 30 см от его центра.

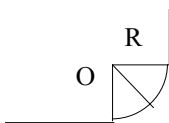
1.10. Катушка длиной 10 см содержит 100 витков. По обмотке катушки идет ток 5 А. Диаметр катушки 10 см. Определить магнитную индукцию в центре катушки.

1.11. Обмотка соленоида содержит 100 витков, длина соленоида 0,5 м, диаметр витка 1 см. По обмотке течет ток I А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля внутри соленоида.

1.12. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток 50 А. Чему равна магнитная индукция в точке, удаленной на расстоянии 5 см от проводника?



1.13. Два длинных параллельных провода находятся на расстоянии 5 см один от другого. По проводам текут токи в противоположных направлениях $I_1 = I_2 = 10$ А. Найти напряженность магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 2 см от одного провода и от другого провода 3 см.



1.14. Расстояние между двумя длинными параллельными проводами 5 см. По проводам в одном направлении текут токи силой 3 А каждый. Найти напряженность магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии 4 см от одного и 3 см от другого провода.

1.15. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи 50 А и 100 А в противоположных направлениях. Расстояние между проводниками 20 см. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной от первого проводника на 25 см и от второго на 40 см.

1.16. По двум параллельным бесконечно длинным проводникам текут токи 20 А и 30 А в одном направлении. Расстояние между проводниками 10 см. Вычислить магнитную индукцию в точке, удаленной от обеих проводников на одинаковое расстояние 10 см.

1.17. Два бесконечно длинных прямых проводника скрещены под прямым углом. По проводникам текут токи 80 А и 60 А. Расстояние между проводниками 10 см. Чему равна магнитная индукция в точке, одинаково удаленной от обоих проводников?

1.18. По двум бесконечно длинным прямым проводникам, скрещенным под прямым углом, текут токи 30 А и 40 А. Расстояние между проводниками 20 см. Определить магнитную индукцию в точке, одинаково удаленной от обоих проводников на расстояние, равное 20 см.

1.19. Бесконечно длинный прямой проводник под прямым углом. По проводнику течет ток 20 А. Какова магнитная индукция в точке А, если $r=5$ см?

1.20. По бесконечно длинному прямому проводнику, изогнутому, как показано на рисунке, течет ток 100 А. Определить магнитную индукцию в точке О, если $R = 10$ см.

1.21. Бесконечно длинный прямой проводник согнут под прямым углом. По проводнику течет ток 100 А. Вычислить магнитную индукцию в точке, лежащей на биссектрисе угла на расстоянии 10 см от вершины угла.

1.22. По бесконечно длинному проводнику, согнутому под углом 120° , течет ток 50 А. Найти магнитную индукцию в точке, лежащей на биссектрисе угла и удаленной от вершины его на расстояние 5 см.

1.23. По контуру в виде равностороннего треугольника идет ток 40 А. Сторона треугольника 30 см. Определить магнитную индукцию в точке пересечения высот.

1.24. По контуру в виде квадрата идет ток 50 А. Сторона квадрата 50 см. Чему равна магнитная индукция в точке пересечения диагоналей?

1.25. По тонкому проводящему кольцу радиусом 10 см течет ток 80 А. Найти магнитную индукцию в точке, равноудаленной от всех точек кольца на 20 см.

1.26. По прямому бесконечно длинному проводнику течет ток 3,14 А. Круговой виток расположен так, что плоскость витка параллельна прямому проводнику, а перпендикуляр, опущенный на него из центра витка равен 20 см. Радиус витка 30 см. Найти магнитную индукцию в центре витка.

1.27. Соленоид длиной 20 см имеет 200 витков. При какой силе тока напряженность магнитного поля в средней части соленоида равна 2000 А/м?

1.28. Какой величины ток должен быть в цепи, состоящей из 5 близко расположенных витков с радиусом 20 см, чтобы напряженность поля в центре была равна 80 А/м?

1.29. Круговой виток диаметром 0,2 м намотан из 100 витков тонкого провода, по которому течет ток силой 50 А. Найти индукцию магнитного поля в центре витка и на расстоянии 100 мм от центра на оси витка.

1.30. На длинный соленоид виток к витку намотан провод, диаметр которого равен d . По проводнику течет ток силой I . Найти индукцию магнитного поля в центре и вершине катушки. Сделать расчет при $d = 0,1$ мм, $I = 5$ А.

2.1. Вычислить скорость, которую приобретет электрон, пройдя разность потенциалов, равную: а) 100 В, б) 100 кВ.

2.2 В однородном магнитном поле электрон движется по спирали, диаметр которой 80 мм, шаг 200 мм. Определить скорость электрона, если индукция поля $5 \cdot 10^{-3}$ Тл.

2.3. Определить силу Лоренца, действующую на электрон, влетевший под углом 30° в магнитное поле, индукция которого 0,2 Тл. Скорость электрона $4 \cdot 10^6$ м/с.

2.4. Ион, несущий элементарный заряд, движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,015 Тл по окружности радиусом 10 см. Чему равен импульс электрона?

2.5. Двукратно ионизированный атом гелия (α -частица) движется в однородном магнитном поле напряженностью 10^5 А/м по окружности радиусом 10 см. Найти скорость α -частицы.

2.6. Вычислить радиус дуги окружности, которую описывает протон в магнитном поле с индукцией $1,5 \cdot 10^{-2}$ Тл, если скорость протона $2 \cdot 10^6$ м/с.

2.7. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией 0,5 Тл. Определить момент импульса, которым обладала частица при движении в магнитном поле, если ее траектория представляла дугу окружности радиусом 0,2 см.

2.8. Электрон движется в магнитном поле с индукцией 0,02 Тл по окружности радиусом 1 см. Какова кинетическая энергия электрона в джоулях и электронвольтах?

2.9. Заряженная частица влетела перпендикулярно линиям индукции в однородное магнитное поле, созданное в среде. В результате взаимодействия с веществом частица, находясь в поле, потеряла половину своей первоначальной энергии. Во сколько раз будет отличаться радиус кривизны траектории начала и конца пути?

2.10. Заряженная частица, двигаясь в магнитном поле по дуге окружности радиусом 2 см, прошла через свинцовую пластину, расположенную на пути частицы. Вследствие потери энергии частицей радиус кривизны траектории изменился и стал равным 1 см. Определить относительное изменение энергии частицы.

2.11. Протон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 600 В, влетел в однородное магнитное поле с индукцией 0,3 Тл и начал двигаться по окружности. Вычислить радиус окружности.

2.12. Заряженная частица, обладающая скоростью $2 \cdot 10^6$ м/с, влетела в однородное магнитное поле с индукцией 0,52 Тл. Найти отношение заряда частицы к его массе, если частица в поле описала дугу окружности радиусом 4 см. Определить по этому отношению, какая это частица.

2.13. Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов 2000 В, движется в однородном магнитном поле с индукцией $1,51 \cdot 10^{-2}$ Тл по окружности радиусом 1 см. Чему равно отношение заряда к ее массе и какова скорость частицы?

2.14. Заряженная частица с энергией 1 кэВ движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом 1 мм. Какова сила, действующая на частицу со стороны поля?

2.15. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл перпендикулярно линиям поля. Определить силу, действующую на электрон со стороны поля, если радиус кривизны траектории 0,5 см.

2.16. Электрон движется в однородном магнитном поле напряженностью 4000 А/м со скоростью 10000 км/с, направленной перпендикулярно к линиям напряженности. Найти силу, с которой поле действует на электрон и радиус окружности, по которой он движется.

2.17. Протон с энергией 1 МэВ влетел в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции ($B = 1$ Тл). Какова должна быть протяженность поля в направлении, по которому летел протон, когда находился вне поля, чтобы оно изменило направление движения протона на противоположное?

2.18. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле напряженностью 10^4 А/м. Вычислить период обращения электрона.

2.19. Определить частоту обращения электрона по круговой орбите в магнитном поле, магнитная индукция которого 0,2 Тл.

2.20. Электрон в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл движется по окружности. Найти величину эквивалентного кругового тока, создаваемого движением электрона.

2.21. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с индукцией 0,2 Тл, стал двигаться по окружности радиусом 5 см. Чему равна величина магнитного момента эквивалентного кругового тока?

2.22. Два однозарядных иона, пройдя одинаковую ускоряющую разность потенциалов, влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Один Ион, масса которого 12 у.е., описал дугу окружности радиусом 4 см. Определить массу другого иона, который описал дугу окружности радиусом 4,9 см.

2.23. Два иона, имеющие одинаковый заряд, но различные массы, влетели в однородное магнитное поле. Первый ион начал двигаться по окружности радиусом 5 см, второй ион - по окружности радиусом 2,5 см. Найти отношение масс ионов, если они прошли одинаковую ускоряющую разность потенциалов.

2.24. α -частица влетела со скоростью $2 \cdot 10^4$ м/с в магнитное поле, индукция которого 2 Тл. Найти радиус кривизны траектории α -частицы в магнитном поле.

2.25. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $9 \cdot 10^{-3}$ Тл по винтовой линии, радиус которой 1 см и шаг 7,8 см. Определить период обращения электрона и его скорость.

2.26. Найти угловую скорость обращения электрона по окружности, которую он описывает в однородном магнитном поле, если магнитная индукция поля равна $2 \cdot 10^{-2}$ Тл.

2.27. По приближенным представлениям теории Бора электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите, радиус которой $5,3 \cdot 10^{-9}$ см. Определить, какое магнитное поле создает он в центре круговой орбиты.

2.28. Электрон влетает в однородное магнитное поле, магнитная индукция которого 10^{-3} Тл, со скоростью $6 \cdot 10^6$ м/с. Направление скорости составляет угол 30° с направлением поля. Определить траекторию движения электрона в магнитном поле.

2.29. Электрон, разогнанный в электрическом поле напряжением 20 кВ, влетает в однородное магнитное поле с индукцией 0,1 Тл. Вектор скорости образует угол 75° с направлением вектора индукции. Определить форму траектории.

2.30. Альфа-частица движется в однородном магнитном поле с индукцией 1,2 Тл по окружности радиусом 49 см в плоскости, перпендикулярной силовым линиям. Определить скорость и кинетическую энергию частицы.

3.1. В соленоиде длиной 15 см, по которому протекает ток силой в 7 А, возбуждается напряженность магнитного поля 500 А/см. Определить число витков в соленоиде.

3.2. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле, индукция которого равна 0,5 Тл. По проводу длиной в 50 см, помещенному перпендикулярно силовым линиям, течет ток силой 7 А. Найти силу, действующую на провод.

3.3. Линейный проводник с током длиной 50 см, расположенный в воздухе перпендикулярно магнитному полю, испытывает со стороны поля действие. Каково оно, если по проводнику протекает ток в 5 А, индукция поля 5 Тл?

3.4. По проводнику длиной 45 см протекает ток 50 А. Чему равна индукция магнитного поля, в которое помещен проводник, если он испытывает действие силы в 10^{-3} Н?

3.5. Часть катушки прямоугольной формы, состоящей из 50 витков, расположена внутри магнитного поля с индукцией 0,5 Тл. По катушке протекает ток силой 10 А. Определить силу, с которой действует магнитное поле на катушку, если рабочая часть ее, помещенная в магнитное поле, равна 8 см.

3.6. Два параллельных проводника с одинаковыми по величине токами, находящиеся на расстоянии 8,7 см друг от друга, притягиваются с силой $2,5 \cdot 10^{-2}$ Н. Определить силу тока в проводниках, если длина каждого из них 320 см.

3.7. Два параллельных очень длинных прямолинейных проводника расположены в вакууме на расстоянии 4 см друг от друга. По одному из них течет ток 25 А, а по другому - 5 А. Найти длину участка проводника, на который будет действовать сила $1,2 \cdot 10^{-3}$ Н.

3.8. В однородном магнитном поле с индукцией 0,82 Тл находится прямолинейный проводник с током 18 А, расположенный перпендикулярно к силовым линиям. Определить силу, действующую на проводник, если его длина 128 см.

3.9. Прямолинейный проводник длиной 88 см расположен перпендикулярно к силовым линиям в однородном магнитном поле. Чему равна магнитная индукция этого поля, если на проводник действует сила 1,6 Н, при силе тока в нем 23 А?

3.10. В однородном магнитном поле с индукцией 0,25 Тл находится прямолинейный проводник длиной 1,4 м, на который действует сила 2,1 Н. Определить угол между направлением тока в проводнике и направлением магнитного поля, если сила тока в проводнике 12 А.

3.11. На прямолинейный проводник с током 14,5 А в однородном магнитном поле с индукцией 0,34 Тл действует сила 1,65 Н. Определить длину проводника, если он расположен под углом 38° к силовым линиям.

3.12. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам течет ток в одном направлении $I_1 = 20$ А, $I_2 = 30$ А. Какую работу надо совершить (на единицу длины проводника), чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния 20 см?

3.13. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле, индукция которого равна 0,1 Тл. По проводнику длиной в 70 см, помещенному перпендикулярно силовым линиям, течет ток силой 70 А. Найти силу, действующую на провод.

3.14. По медному стержню массой 0,14 кг, лежащему поперек двух рельсов, расположенных друг от друга на расстоянии 0,3 м, проходит ток 50 А. Коэффициент трения скольжения по рельсам 0,6. Определить минимальную индукцию магнитного поля, при которой проводник начнет скользить по рельсам.

3.15. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле с индукцией $7,9 \cdot 10^{-2}$ Тл. В поле помещают проводник длиной 70 см так, что на него действует максимальная сила. Ток в проводнике 10 А. Определите: а) максимальную силу, действующую на проводник, б) угол, на который надо повернуть проводник, чтобы уменьшить силу в два раза.

3.16. Магнитное поле с напряженностью $3,35 \cdot 10^4$ А/м уравнивает проводник массой 0,0418 кг, по которому течет ток в 12,5 А. Угол между направлением проводника и направлением поля 90° . Определить длину проводника, находящегося в магнитном поле ($\mu=1$).

3.17. Проводник длиной 1 м весит 0,0784 Н и расположен перпендикулярно к полю, напряженность которого $6,34 \cdot 10^3$ А/м. Определить, какой ток нужно пропустить по проводнику, чтобы он находился в равновесии в магнитном поле ($\mu = 1$)/

3.18. Между полюсами электромагнита создается однородное магнитное поле, индукция которого равна 0,1 Тл. По проводнику длиной в 70 см, помещенному перпендикулярно силовым линиям, течет ток силой 70 А. Найти силу, действующую на проводник.

3.19. По двум одинаковым квадратным плоским контурам со стороной 20 см текут токи 10 А. Определить силу взаимодействия контуров, если расстояние между соответствующими сторонами контуров 2 мм.

3.20. По двум тонким проводникам, изогнутым в виде кольца радиусом 10 см, текут одинаковые токи по 10 А в каждом. Найти силу взаимодействия этих колец, если плоскости, в которых лежат кольца, параллельны, а расстояние между центрами колец 1 мм.

3.21. По трем параллельным проводам, находящимся на одинаковом расстоянии 10 см друг от друга, текут одинаковые токи по 1000 А. В двух проводах направление токов совпадает. Вычислить силу, действующую на единицу длины каждого провода.

3.22. По двум параллельным проводам длиной 1 м каждый текут токи одинаковой силы. Расстояние между проводами 1 см. Сила взаимодействия токов 10^{-3} Н. Какова сила тока в проводах?

3.23. Шины генератора представляют собой две параллельные медные полосы по 2 м, отстоящие друг от друга на расстоянии 20 см. Определить силу взаимного отталкивания шин в случае короткого замыкания, когда по ним течет ток силой 10^4 А.

3.24. По двум параллельным прямым проводам длиной 2,5 м каждый текут одинаковые токи 10^3 А. Расстояние между проводами 20 см. Вычислить силу взаимодействия.

3.25. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с длинным прямым проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи 1000 А. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине.

3.26. Проводник в виде тонкого полукольца радиусом 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией $5 \cdot 10^{-2}$ Тл. По проводнику течет ток 10 А. Найти силу, действующую на проводник, если плоскость полукольца перпендикулярна линиям индукции, а проводящие провода находятся вне поля.

3.27. По тонкому проводнику в виде кольца радиусом 10 см течет ток 100 А. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено однородное магнитное поле с индукцией $2 \cdot 10^{-2}$ Тл. Чему равна сила, растягивающая кольцо?

3.28. Прямой провод длиной 10 см, по которому течет ток силой 20 А, находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,01 Тл. Каков угол между направлением поля и направлением тока, если на провод действует сила 10^{-2} Н?

3.29. Электрон и протон, двигаясь с одинаковой скоростью, попадают в однородное магнитное поле. Сравнить радиусы кривизны траекторий протона и электрона.

3.30. На линейный проводник длиной 35 см действует сила магнитного поля 0,1764 Н. Определить угол между направлением поля и тока, если по проводнику протекает ток $I = 12$ А, а напряженность магнитного поля равна $5,1 \cdot 10^4$ А/м, $\mu = \mu_0$.

4.1. В однородное магнитное поле с напряженностью $7,95 \cdot 10^3$ А/м помещена квадратная рамка со стороной 4 см, имеющая 10 витков. Плоскость рамки составляет с

направлением магнитного поля угол 30° . Определите: а) магнитный поток, пронизывающий рамку, б) работу, совершенную магнитным полем при повороте рамки к положению равновесия, если по витку пустить ток 5 А.

4.2. Виток, по которому течет ток 20 А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 0,016 Тл. Диаметр витка 10 см. Какую работу надо совершить для поворота витка на угол $\pi/2$ и 2π относительно оси, совпадающей с диаметром?

4.3. Два прямолинейных длинных проводника расположены параллельно на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут токи 20 А и 30 А в одном и том же направлении. Какую работу нужно совершить (на единицу проводника), чтобы раздвинуть эти проводники до расстояния 20 см?

4.4. Плоский контур, площадь которого 300 см^2 , находится в однородном магнитном поле, индукция которого 0,01 Тл. Плоскость контура перпендикулярна линиям поля. В контуре поддерживается неизменный ток 10 А. Определить работу внешних сил по перемещению контура с током в область пространства, магнитное поле в которой отсутствует.

4.5. В однородном магнитном поле с индукцией 0,01 Тл находится прямой проводник длиной 8 см, расположенный перпендикулярно к линиям индукции. По проводнику течет ток 2 А, величина которого поддерживается неизменной. Под действием сил поля проводник переместился на расстояние 5 см. Найти работу сил поля.

4.6. Два прямолинейных проводника, по которым текут равные токи в одном и том же направлении, расположены параллельно на некотором расстоянии друг от друга. Какой ток течет по проводникам, если для удаления проводников на вдвое больше расстояние нужно совершить работу (на единицу длины) $5,5 \cdot 10^{-5}$ Дж/м?

4.7. По проводнику, согнутому в виде квадрата со стороной 10 см, течет ток 20 А, величина которого поддерживается неизменной. Плоскость квадрата составляет угол 20° с линиями однородного магнитного поля ($B = 0,1$ Тл). Вычислить работу, которую необходимо совершить для того, чтобы удалить проводник за пределы поля.

4.8. По кольцу, сделанному из тонкого гибкого проводника радиусом 10 см, течет ток 100 А. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено магнитное поле, индукция которого 0,1 Тл. Собственное магнитное поле кольца и внешнее поле совпадают. Чему равна работа внешних сил, которые, действуя на проводник, деформировали его и придали форму квадрата? Сила тока при этом поддерживалась неизменной.

4.9. Виток, по которому течет ток силой 20 А, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией 0,016 Тл. Диаметр витка 10 см. Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть виток а угол 90° относительно оси, совпадающей с диаметром?

4.10. Круговой контур помещен в однородное магнитное поле так, что плоскость контура перпендикулярна силовым линиям поля. Напряженность магнитного поля 80 А/м. По контуру течет ток силой 2 А. Радиус контура 2 см. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть контур на 90° вокруг оси, совпадающей с диаметром контура?

4.11. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,5 Тл, движется равномерно проводник длиной 10 см. По проводнику течет ток силой 2 А. Скорость движения проводника 20 см/с и направлена перпендикулярно направлению магнитного поля. Найти работу переменного проводника за 10 с движения и мощность, затраченную на это движение.

4.12. Напряженность магнитного поля тороида со стальным сердечником возросла от 200 А/м до 800 А/м.

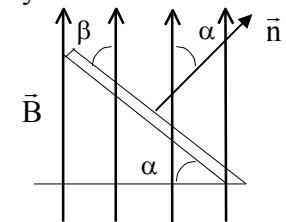
Определить, во сколько раз изменилась объемная плотность энергии магнитного поля.

4.13. Какую работу надо затратить на перемещение проводника длиной 0,4 м с током 21 А в однородном магнитном поле с индукцией 1,2 Тл на 0,25 м? Проводник движется перпендикулярно к силовым линиям.

4.14. Рамка, содержащая 25 витков, расположена в магнитном поле так, что через нее проходит внешний магнитный поток 0,012 Вб. Когда по виткам пропустили ток в 8,5 А, рамка повернулась и через нее стал проходить внешний магнитный поток 0,077 Вб. Определить работу при повороте рамки.

4.15. В однородном магнитном поле с индукцией 0,06 Тл рамка состоит из 200 витков и может вращаться вокруг оси, перпендикулярной силовым линиям поля. Когда по виткам течет ток 0,5 А, рамка располагается перпендикулярно к силовым линиям поля. Какую работу надо произвести, чтобы повернуть рамку из этого положения на $1/4$ оборота? На целый оборот?

4.16. В однородном магнитном поле с индукцией 0,25 Тл находится плоская катушка с радиусом 25 см, в которой 75 витков. Плоскость катушки составляет угол 60° с направлением магнитных силовых линий. Определить вращающий момент, действующий на катушку в магнитном поле, чтобы удалить это катушку из магнитного поля, если по ее виткам течет ток 8 А.



4.17. Рамка гальванометра длиной 4 см и шириной 1,5 см, содержащая 200 витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Найти вращающий момент, действующий на рамку, когда по ней течет ток силой 1 мА.

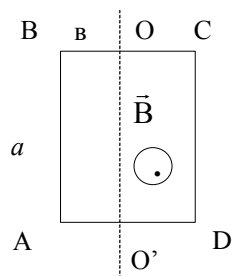
4.18. Квадратная рамка со стороной 10 см расположена около очень длинного провода с током 10 А, так, что две стороны рамки параллельны проводу и отстоят от него на расстоянии 20 см. Чему будет равен вращающий момент, действующий на рамку, если по нему пропустить ток 10 А?

4.19. Внутри соленоида, имеющего 400 витков, распределенных по длине в 0,4 м, находится виток радиусом 0,02 м, по которому течет ток 0,1 А. Какой максимальный вращающий момент будет действовать на виток, если через соленоид пропустить ток силой 10 А?

4.20. Проволочная рамка с током 2 А расположена в однородном магнитном поле перпендикулярно силовым линиям. Какую работу против сил поля нужно совершить, чтобы повернуть рамку на 90° вокруг оси, проходящей через диаметр рамки? Площадь рамки $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$, индукция поля 10^{-2} Тл . Каков будет ответ, если рамку повернуть на 180° ?

4.21. Плоская рамка, состоящая из 50 витков тонкой проволоки, подвешена на бронзовой ленточке между полюсами электромагнита. При пропускании через рамку тока силой 1 А рамка повернулась на 15° . Определить индукцию магнитного поля в том месте, где находится рамка, если известно, что при закручивании ленточки на 1° возникает момент упругости, равный $0,1 \cdot 10^{-4} \text{ Н}\cdot\text{м}$. При отсутствии поля плоскость рамки составляла с направлением поля угла 30° , площадь рамки 10^{-3} м^2 .

4.22. Прямоугольный контур ABCD со сторонами "а" и "в" находится в магнитном поле напряженности Н, может вращаться вокруг оси OO'. По контуру течет ток I. Определить работу, совершаемую магнитным полем при повороте контура на 180° , если в начале плоскость контура была



перпендикулярна магнитному полю и расположена так, как показано на рисунке.

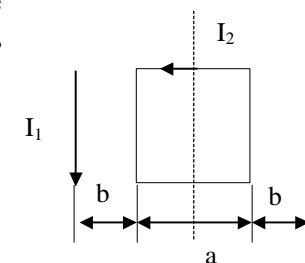
4.23. Вблизи длинного прямого провода, по которому протекает ток 10 А, расположена квадратная рамка с током I А. Рамка и провод лежат в одной плоскости, сторона рамки $a=6,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, расстояние $b=4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. Какую работу нужно совершить, чтобы прямой провод передвинуть в положение, указанное пунктиром? (см. рисунок).

4.24. Рядом с длинным проводом, по которому течет ток 30 А, расположена квадратная рамка с током 2 А. Рамка и провод в одной плоскости. Проходящая через середины противоположных сторон ось рамки параллельна проводу и отстоит от него на расстоянии $3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$. Найти силу, действующую на рамку, и работу А, которую нужно совершить, чтобы повернуть рамку вокруг ее оси на 180° .

4.25. Виток радиусом 10^{-1} м , по которому течет ток силой 20 А, свободно установился в однородном магнитном поле напряженностью 10^3 А/м . Виток повернули относительно диаметра на угол 60° . Определить совершенную работу.

4.26. Два параллельных достаточно длинных провода находятся на расстоянии 20 см друг от друга. В них поддерживается токи каждый силой 20 А, направленные в противоположные стороны. Какую работу на единицу длины проводов совершает магнитное поле при удалении проводов до расстояния 40 см?

4.27. Два прямолинейных длинных параллельных проводника находятся на некотором расстоянии друг от друга. По проводникам текут токи, равные по величине и направлению. Найти силу тока, текущего по каждому из проводников, если известно, что для того чтобы раздвинуть эти проводники на вдвое большее расстояние, пришлось совершить



работу на единицу длины проводника), равную $6 \cdot 10^{-5}$ Дж/м.

4.28. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 3 Тл, движется равномерно проводник длиной 15 см. По проводнику течет ток силой 1 А. Скорость движения проводника 0,15 м/с и направлена перпендикулярно к направлению магнитного поля. Найти работу перемещения проводника за 10 с.

4.29. В однородном магнитном поле свободно с периодом 10 с колеблется рамка с током 0,1 А. Площадь рамки 10 см^2 , момент инерции $2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Определить магнитную индукцию поля. Максимальный угол отклонения рамки мал.

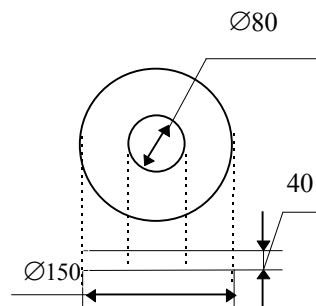
4.30. Прямой провод, по которому течет ток силой 1000 А, расположен между полюсами электромагнита перпендикулярно линиям индукции. С какой силой действует поле на единицу длины провода, если индукция поля электромагнита 1 Тл?

5.1. Какова энергия магнитного поля в катушке длиной 50 см, имеющей 10000 витков диаметром 25 см, без железного сердечника, если по ней идет ток 2 мА? Считать, что $(\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) = 0,818$.

5.2. Обмотка электромагнита сопротивлением 10 Ом и индуктивностью 0,2 Гн находится под постоянным напряжением. В течение какого промежутка времени в обмотке выделяется количество тепла, равное энергии магнитного поля в сердечнике?

5.3. По обмотке соленоида индуктивностью 0,2 Гн течет ток 10 А. Определить энергию магнитного поля соленоида.

5.4. На железное кольцо намотано в 1 силой 200 витков. Чему равна энергия магнитного поля, если при токе 2,5 А магнитный поток в железе $6 \cdot 10^{-4}$ Вб?



5.5. Соленоид содержит 1000 витков. Сила тока в обмотке соленоида 1 А, магнитный поток 0,01 Вб. Вычислить энергию магнитного поля.

5.6. Индуктивность катушки (без сердечника) 0,1 мГн. При какой силе тока энергия магнитного поля 10^{-4} Дж?

5.7. По обмотке тороида течет ток 0,6 А. Витки провода диаметром 0,4 мм плотно прилегают друг к другу (толщиной изоляции пренебречь). Найти энергию магнитного поля в стальном сердечнике тороида, если площадь сечения его 4 см^2 , диаметр средней линии 30 см.

5.8. При индукции поля 1 Тл плотность энергии магнитного поля в железе 200 Дж/м^3 . Какова магнитная проницаемость железа при этих условиях?

5.9. Определить объемную плотность энергии магнитного поля в стальном сердечнике, если индукция магнитного поля 0,5 Тл.

5.10. Индукция магнитного поля тороида со стальным сердечником возросла от 0,5 Тл до 1 Тл. Найти, во сколько раз изменилась объемная плотность энергии магнитного поля.

5.11. Вычислить плотность энергии магнитного поля в железном сердечнике замкнутого соленоида, если напряженность намагничивающего поля 1200 А/м.

5.12. Из ферромагнитного материала (для которого по кривой намагничивания для $B=1 \text{ Тл}$, $H=2 \text{ А/м}$) изготовлен сердечник, размеры которого даны на рисунке. На сердечник виток к витку намотана обмотка из провода, толщина которого равна 0,6 мм. Определить индуктивность катушки при силе тока 200 мА.

Найти энергию магнитного поля и плотность энергии.

5.13. При некоторой силе тока плотность энергии магнитного поля соленоида (без сердечника) $0,2 \text{ Дж/м}^3$. Во сколько раз увеличится плотность энергии поля при той же силе тока, если соленоид будет иметь железный сердечник?

5.14. Найти плотность энергии магнитного поля в железном сердечнике соленоида, если напряженность намагничивающего поля 1600 А/м .

5.15. Обмотка тороида с намагнитным сердечником имеет 10 витков на каждый сантиметр длины. Чему равна плотность энергии поля при силе тока 16 А ?

5.1.6 Обмотка тороида содержит 10 витков на каждый сантиметр длины. Сердечник не магнитный. При какой силе тока плотность энергии магнитного поля 1 Дж/м^3 ?

5.1.7 Железный сердечник, имеющий форму тора с квадратным сердечником, несет на себе обмотку из 1000 витков. Внутренний радиус тора 200 мм , внешний - 250 мм . Определить энергию, запасенную в сердечнике в том случае, когда по обмотке течет ток $1,26 \text{ А}$. Определение произвести приближенно, считая H по всему сечению тороида одинаковой и равной H в центре сечения.

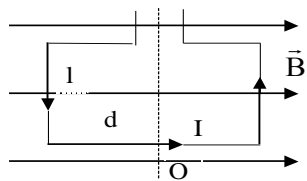
5.18. Соленоид длиной 50 см и площадью поперечного сечения 2 см^2 имеет индуктивность $2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}$. При какой силе тока объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна 10^{-3} Дж/м^3 ?

5.19. Сколько ампер-витков потребуется для того, чтобы внутри соленоида малого диаметра и длиной 30 см объемная плотность энергии магнитного поля была равна $1,75 \text{ Дж/м}^3$?

5.20. Через катушку, индуктивность которой равна $0,021 \text{ Гн}$, течет ток, изменяющийся со временем по закону $I = I_0 \sin \omega t$, где $I_0 = 5 \text{ А}$, $\omega = 2\pi/T$ и $T = 0,02 \text{ с}$. Найти зависимость от времени: 1) ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке; 2) энергии магнитного поля катушки.

5.21. Магнитное поле в катушке с индуктивностью 95 мГн обладает энергией $0,19 \text{ Дж}$. Чему равна сила тока в катушке?

5.22. Определите



индуктивность катушки, если при токе $6,2 \text{ А}$ ее магнитное поле обладает энергией $0,37 \text{ Дж}$.

5.23. Определить энергию магнитного поля катушки, в которой при токе $7,5 \text{ А}$ магнитный поток равен $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$. Число витков в катушке 120.

5.24. На катушке с сопротивлением $8,2 \text{ Ом}$ поддерживается постоянно напряжение 55 В . Сколько энергии выделяется при замыкании цепи катушки, если ее индуктивность 25 мГн ? какая средняя ЭДС самоиндукции появится при этом в катушке, если энергия будет выделяться 12 с ?

5.25. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. По цепи протекло количество электричества 10^{-5} Кл . Определить магнитный поток, пересеченный кольцом, если сопротивление цепи гальванометра 30 Ом .

5.26. По соленоиду проходит ток 5 А . Соленоид имеет длину 1 м , число витков 500 и площадь поперечного сечения 50 см^2 . Найти энергию магнитного поля соленоида.

5.27. По соленоиду течет ток 5 А . Длина соленоида 1 м , число витков 500 , площадь поперечного сечения 50 см^2 . В соленоиде вставляют железный сердечник. Найти энергию магнитного поля соленоида.

5.28. Сколько ампер-витков потребуется для того, чтобы внутри соленоида малого диаметра и длиной 50 см объемная плотность энергии магнитного поля была равна $1,5 \text{ Дж/м}^3$?

5.29. Энергия магнитного поля катушки $1,7 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$, длина катушки 50 см , катушка имеет 10^3 витков диаметром 20 см . Какой ток протекает по ней? Найти объемную плотность энергии.

5.30. Найдите вращающий момент сил, действующих на рамку площадью S , обтекаемую током I , в однородном

магнитном поле B , если рамка вращается вокруг оси OO' , перпендикулярно полю.

6.1. В магнитном поле бесконечно длинного прямого проводника с током I находится прямоугольная рамка, сделанная из металлической проволоки, со сторонами “а” и “в”, причем сторона “в” параллельна проводу с током. Ближайшая к проводу с током сторона рамки находится от провода на расстоянии l . Определить среднее значение ЭДС индукции, возникающей в рамке, если рамку удалять от проводника с током параллельно самой себе на расстояние X относительно ее первоначального положения с постоянной скоростью.

6.2. В магнитном поле бесконечно длинного прямого проводника с током I со скоростью v движется проводник длиной l по направлению, перпендикулярному току. Проводник длиной l во время движения остается параллельным проводнику с током.

1) Найти ЭДС индукции в проводнике длиной l при любом законе движения;

2) Вычислить ЭДС индукции в проводнике l при его равномерном движении со скоростью 2 м/с для момента времени 2 с от начала движения проводника. Известно, что ток $I=10$ А, $l=1$ м, начальное расстояние между проводниками $x_0=0,01$ м.

6.3. Между полюсами электромагнита помещена катушка, соединенная с баллистическим гальванометром. Ось катушки параллельна линиям индукции. Катушка имеет 15 витков площадью 2 см². Сопротивление катушки 4 Ом, сопротивление гальванометра 46 Ом. Когда ток в обмотке электромагнита включили, по цепи гальванометра протекло количество электричества $9 \cdot 10^{-5}$ Кл. Вычислить магнитную индукцию B поля электромагнита.

6.4. Квадратная рамка со стороной 1 м вращается в однородном магнитном поле с частотой 5 об/с. Ось вращения

рамки перпендикулярна линиям индукции поля. Магнитное поле изменяется по закону: $B = B_0 \cos \frac{10\pi t}{T}$. Какая ЭДС

индукции возникает в рамке через 10 с после начала ее вращения, если в начальный момент нормаль к плоскости рамки и вектор B составили угол β ?

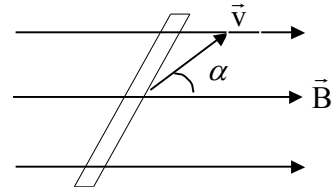
6.5. В переменном магнитном поле находится короткозамкнутая катушка сопротивлением 10 Ом и индуктивностью $0,02$ Гн. При изменении магнитного потока, пронизывающего катушку, на 10^{-3} Вб ток в катушке меняется на $2 \cdot 10^{-3}$ А. Какой заряд прошел по виткам катушки за это время?

6.6. По длинному проводнику течет ток I . В магнитном поле этого тока находится проволочная квадратная рамка сопротивлением R со стороной a . Центр рамки находится на расстоянии r_0 от проводника с током. Нормаль к плоскости рамки и вектор индукции магнитного поля составляет угол α . Какое количество электричества протечет по рамке за время изменения тока в проводнике от первоначального значения I до нуля? (Магнитным полем индукционного тока в рамке пренебречь).

6.7. Виток из проволоки площадью 1 м² расположен перпендикулярно магнитному полю, индукция которого изменяется по закону: $B=0,5(1+e^{v/T})$. Определить ЭДС индукции в витке как функцию времени.

6.8. В однородном магнитном поле с индукцией 10^{-1} Тл вращается квадратная рамка со стороной 20 см, состоящая из 100 витков медного провода сечением 1 мм². Максимальное значение индукционного тока в рамке 2 А. Определить число оборотов рамки в секунду.

6.9. В однородном магнитном поле с индукцией I Тл поступательно и равномерно движется проводник длиной 4 см со скоростью 2 м/с. Вектор скорости направлен под углом 30° к вектору индукции \vec{B} . Проводник при своем движении остается перпендикулярным направлению поля. Найти разность потенциалов на концах проводника. См. рис.



6.10. Если размыкать и замыкать цепь гальванического элемента, держа в руках неизолированные концы проводников, то ток не ощущается. Если же в цепь элемента включен большой электромагнит, то при размыкании чувствуется удар тока, как при разряде дейденской банки. Почему?

6.11. Магнитный поток $4 \cdot 10^{-2}$ Вб пронизывает замкнутый контур. Определить среднее значение величины ЭДС индукции, которая возникает в контуре, если магнитный поток изменяется до нуля за время 0,002 с.

6.12. Прямой проводник длиной 40 см движется в однородном магнитном поле со скоростью 5 м/с перпендикулярно к линиям индукции. Разность потенциалов между концами проводника 0,6 В. Вычислить индукцию магнитного поля.

6.13. В однородном магнитном поле, индукция которого I Тл, находится прямой проводник длиной 20 см. Концы проводника замкнуты проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи 0,1 Ом. Найти силу, которую нужно приложить к проводнику, чтобы перемещать его перпендикулярно линиям индукции со скоростью 2,5 м/с.

6.14. Прямой проводник длиной 10 см помещен в однородное магнитное поле с индукцией I Тл. Концы проводника загнуты гибким проводом, находящимся вне поля. Сопротивление всей цепи 0,4 Ом. Какая мощность

потребуется для того, чтобы двигать проводник перпендикулярно линиям индукции со скоростью 20 м/с?

6.15. К источнику с ЭДС 0,5 В и ничтожно малым внутренним сопротивлением присоединены два металлических стержня, расположенных горизонтально и параллельно друг к другу. Расстояние между стержнями 20 см. Стержни находятся в однородном магнитном поле, направленном вертикально. Индукция поля 1,5 Тл. По стержням скользит под действием сил поля прямолинейный проводник со скоростью 1 м/с. Сопротивление проводника 0,02 Ом, сопротивление стержней пренебрежимо мало. Определить: 1) ЭДС индукции; 2) силу, действующую на проводник со стороны поля.

6.1.6 В однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл вращается стержень длиной 10 см. Ось вращения параллельна линиям индукции и проходит через один из концов стержня перпендикулярно его длине. Чему равна разность потенциалов на концах стержня, если он делает 16 об/с?

6.1.7 Рамка площадью 200 см^2 равномерно вращается ($n=10$ об/с) относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля ($B=0,2$ Тл). Каково среднее значение ЭДС индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменится от нуля до максимального значения?

6.18. В однородном магнитном поле с индукцией 0,35 Тл равномерно с частотой 480 об/мин вращается рамка, содержащая 1500 витков площадью 50 см^2 . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Определить max ЭДС индукции, возникающую в рамке.

6.20. Индукция магнитного поля между полюсами двухполюсного генератора 0,8 Тл. Ротор имеет 100 витков площадью 400 см^2 . Сколько оборотов в минуту делает якорь, если максимальное значение ЭДС индукции 200 В?

6.21. Короткая катушка, содержащая 1000 витков, равномерно вращается с угловой скоростью 5 рад/с относительно оси, совпадающей с диаметром катушки и перпендикулярной линиям поля. Магнитное поле однородное с индукцией 0,04 Тл. Определить мгновенное значение ЭДС индукции для тех моментов времени, когда плоскость катушки составляет угол 60° с линиями поля. Площадь катушки 100 см^2 .

6.22. Проволочный виток радиусом 4 см и сопротивлением 0,01 Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,04 Тл. Плоскость рамки составляет угол 30° с линиями поля. Какое количество электричества протечет по витку, если магнитное поле выключить?

6.23. Проволочное кольцо радиусом 10 см лежит на столе. Какое количество электричества протечет по кольцу, если его повернуть с одной стороны на другие? Сопротивление кольца 1 Ом. Вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $5 \cdot 10^{-5}$ Тл.

6.24. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. По цепи протекло количество электричества 10^{-5} Кл. Определить магнитный поток, пересеченный кольцом, если сопротивление цепи гальванометра 30 Ом.

6.25. Средний диаметр железного кольца 15 см. Площадь сечения кольца 7 см^2 . На кольцо навито 500 витков провода. Определите: 1) магнитный поток в сердечнике при токе 0,6 А; 2) величину тока, при которой магнитный поток в кольце равен $8,4 \cdot 10^{-4}$ Вб.

6.26. Квадратная рамка со стороной 20 см расположена в магнитном поле так, что нормаль к рамке образует угол 30° с направлением поля. Магнитное поле изменяется с течением времени по закону: $B = B_0 \cos \omega t$, где $B_0 = 0,2$ Тл, $\omega = 5$ рад/с. Определить величину ЭДС в рамке в момент времени $t = 4$ с.

6.27. Проводник с рабочей длиной 0,8 м пересекает силовые линии магнитного поля под углом 90° со скоростью 0,75 м/с. Определить величину возникающей ЭДС индукции, если магнитная индукция поля равна 25 Тл.

6.28. Самолет с размахом крыльев 18 м движется горизонтально со скоростью 222 м/с. Вертикальная составляющая напряженности магнитного поля Земли около 20 А/м. Определить разность потенциалов между концами крыльями.

6.29. Перпендикулярно направлению магнитного поля перемещается проводник со скоростью 10 км/ч. Рабочая длина проводника 180 см. В проводнике возбуждается ЭДС индукции, равная 1,45 В. Определить индукцию поля.

6.30. Магнитный поток пронизывает катушку, состоящую из 2000 витков. Каково изменение этого потока, если в течение 0,01 с в катушке возникает ЭДС индукции в 200 В?

7.1. Электромагнит изготовлен в виде тороида со средним диаметром 51 см и вакуумным зазором 2 мм. Обмотка тороида равномерно распределена по всей его длине. Во сколько раз уменьшится индукция магнитного поля в зазоре, если, не изменяя силы тока в обмотке, зазор увеличится в 3 раза? Рассеянием магнитного поля вблизи зазора пренебречь. Магнитную проницаемость сердечника тороида считать постоянной и принять 800.

7.2. Сколько ампер-витков необходимо для получения индукции 1,4 Тл в электромагните с железным сердечником длиной 90 см и воздушным промежутком 5 мм. Рассеянием магнитного поля в воздушном промежутке пренебречь.

7.3. В железном сердечнике соленоида индукция 1,3 Тл. Железный сердечник заменили стальным. Определить, во сколько раз следует изменить силу тока в обмотке соленоида, чтобы индукция в сердечнике осталась неизменной.

7.4. Определить число ампер-витков тороида с железным сердечником, при котором индукция в узком вакуумном зазоре шириной 3,6 мм составляет 1,4 Тл. Длина тороида по средней линии 0,8 м.

7.5. Обмотка тороида, имеющего стальной сердечник с узким вакуумным зазором, содержит 1000 витков. По обмотке течет ток 1 А. При какой величине вакуумного зазора индукция магнитного поля в нем будет равна 0,5 Тл? длина тороида по средней линии 1 м.

7.6. Тороид со стальным сердечником, длина которого по средней линии 1 м, имеет вакуумный зазор 4 мм. Обмотка содержит 8 витков/см. При какой силе тока индукция в зазоре будет равна 1 Тл?

7.7. Длина чугунного тора по средней линии 1,2 м, сечение 20 см². По обмотке тора течет ток, создающий в узком вакуумном зазоре магнитный поток $5 \cdot 10^{-4}$ Вб. Ширина зазора 8 мм. Какова должна быть ширина зазора, чтобы магнитный поток в нем при той же силе тока увеличился в два раза?

7.8. Конденсатор емкостью 500 пФ соединен параллельно с катушкой длиной 40 см и сечением 5 см², содержащей 1000 витков. Сердечник немагнитный. Найти период колебаний.

7.9. Два одинаковых железных кольца диаметром 10 см имеют обмотки по 100 витков каждая. В одном из колец имеется поперечный прорез длиной 1 мм. По обмотке сплошного кольца идет ток 2 А. Какой ток надо пустить по обмотке второго кольца, чтобы создать в нем ту же индукцию? Считать площади сечения потока индукции в воздухе и железе одинаковыми.

7.10. Железный сердечник кольцевого соленоида диаметром 20 см имеет зазор в 1 см. При напряженности поля в соленоиде в 9200 А/м индукция в зазоре равна 0,95 Тл. Чему будет равна индукция в сердечнике, если железное кольцо сделать сплошным?

7.11. Длина железного сердечника тороида равна 2,5 м, длина воздушного зазора 1 см. Число витков в обмотке тороида равно 1000. При силе тока 20 А индукция магнитного поля в воздушном зазоре равна. Определить магнитную проницаемость железного сердечника при этих условиях. (Зависимость В от Н неизвестна).

7.12. Длина железного сердечника тороида равна 1 м, длина воздушного зазора 1 см. Площадь поперечного сечения сердечника равна 25 см². Найти, сколько ампер-витков потребуется для создания магнитного потока в $1,4 \cdot 10^{-3}$ Вб, если известно, что при этих условиях магнитная проницаемость материала сердечника равна 800. (Зависимость В от Н неизвестна).

7.13. Длина железного сердечника тороида 1 м, длина воздушного зазора 3 мм. Число витков в обмотке тороида 2000. Найти напряженность магнитного поля Н в воздушном зазоре при силе тока I А в обмотке тороида.

7.14. Длина железного сердечника тороида равна 50 см, длина воздушного промежутка -2 мм. Число ампер-витков в обмотке тороида равно 2000. Во сколько раз уменьшится напряженность магнитного поля в воздушном зазоре, если при том же количестве ампер-витков увеличить длину воздушного зазора вдвое?

7.15. Железный сердечник длиной 50,2 см с воздушным зазором длиной 0,1 см имеет обмотку из 20 витков. Какой ток должен протекать по этой обмотке, чтобы в зазоре получить индукцию в 1,2 Вб/м²?

7.16. Железное кольцо средним диаметром 11,4 см имеет обмотку из 200 витков, по которой течет ток силой 5 А. 1) Какой ток должен проходить через обмотку, чтобы индукция в сердечнике осталась прежней, если в кольце сделать прорез шириной в 1 мм? 2) Найти магнитную проницаемость материала сердечника при этих условиях.

7.17. Требуется построить электромагнит, дающий индукцию магнитного поля в межполюсном пространстве, равную 0,14 Тл. Длина железного сердечника 40 см, длина межполюсного пространства 1 см, диаметр сердечника 5 см. Найти, какую ЭДС надо взять для питания обмотки электромагнита, чтобы получить требуемое магнитное поле, если в распоряжении имеется медная проволока площадью поперечного сечения в 1 мм^2 .

7.18. Железный сердечник находится в однородном магнитном поле напряженностью 1000 А/м. Определить, пользуясь графиком, индукцию магнитного поля в сердечнике и магнитную проницаемость железа.

7.19. На железное кольцо намотано в один слой 500 витков провода. Средний диаметр кольца 25 см. Найти индукцию поля в железе и магнитную проницаемость железа, если сила тока в обмотке: 1) 0,5 А; 2) 2,5 А.

7.20. Замкнутый соленоид (тороид) со стальным сердечником имеет 10 витков на каждый сантиметр длины. По соленоиду течет ток силой 2 А. Вычислить магнитный поток в сердечнике, если его сечение 4 см^2 .

7.21. Сколько ампер-витков требуется для того, чтобы получить магнитный поток $3 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$ в железном сердечнике замкнутого соленоида (тороида), если длина средней линии сердечника 120 см и сечение $2,5 \text{ см}^2$?

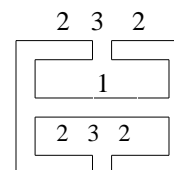
7.22. Соленоид намотан на чугунное кольцо сечением 5 см^2 . Сколько ампер-витков на 1 см необходимо для получения магнитного потока $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$?

7.23. На замкнутый сердечник (тороид) длиной 20 см и площадью поперечного сечения $3,1 \text{ см}^2$ намотана катушка, содержащая 1000 витков. Определить магнитный поток в сердечнике, если по его обмотке течет ток 0,16 А; если ток возрастает в 2 раза, в 4 раза. Зависимость между напряженностью и индукцией магнитного поля для ферромагнитного материала сердечника см. на графике.

7.24. Торойд диаметром 18 см из мягкого железа имеет обмотку, содержащую 1200 витков. Какой ток должен проходить по виткам обмотки, чтобы в тороиде возник магнитный поток $5,4 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$?

7.25. Материальная точка массой 0,01 кг совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид: $x=0,2 \sin 8\pi t$ (длина в см, время в с). Найти возвращающую силу в момент $t=0,1 \text{ с}$, а так же полную энергию точки.

7.26. Сколько ампер-витков нужно взять для электромагнита, чтобы получить поле индукцией 1,65 Тл в зазорах 3 (см. рисунок), если длины участков магнитной цепи соответственно $l_1=100 \text{ см}$, $l_2=49,8 \text{ см}$, $l_3=4 \text{ см}$.



7.27. На железный сердечник, имеющий форму тора квадратного сечения, сторона 4 см, диаметр 40 см, намотана равномерно в один слой проволока. Число витков 500. По проволоке пропустили ток 1 А. Магнитная проницаемость 400. найти поток индукции.

7.28. Длина железного сердечника тороида 1 м, длина воздушного зазора 2 мм. Число витков в обмотке тороида 800. Найти напряженность магнитного поля в воздушном зазоре при силе тока 1 А в обмотке тороида.

7.29. Длина железного сердечника тороида равна 40 см, длина воздушного зазора 1 мм. Число ампер-витков в обмотке тороида 1000. Во сколько раз уменьшится напряженность магнитного поля в воздушном зазоре, если при том же количестве ампер-витков увеличить длину воздушного зазора вдвое.

7.30. Железный сердечник длиной 50 см с воздушным зазором 0,3 см имеет обмотку из 20 витков. Какой ток должен

протекать по этой обмотке, чтобы в зазоре получить индукцию 1,5 Вб/м²?

29	1.29	2.29	3.29	4.29	5.29	6.29	7.29
30	1.30	2.30	3.30	4.30	5.30	6.30	7.30

№ варианта	№ задач						
1	1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	7.1
2	1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	7.2
3	1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	7.3
4	1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	7.4
5	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
6	1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6
7	1.7	2.7	3.7	4.7	5.7	6.7	7.7
8	1.8	2.8	3.8	4.8	5.8	6.8	7.8
9	1.9	2.9	3.9	4.9	5.9	6.9	7.9
10	1.10	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	7.10
11	1.11	2.11	3.11	4.11	5.11	6.11	7.11
12	1.12	2.12	3.12	4.12	5.12	6.12	7.12
13	1.13	2.13	3.13	4.13	5.13	6.13	7.13
14	1.14	2.14	3.14	4.14	5.14	6.14	7.14
15	1.15	2.15	3.15	4.15	5.15	6.15	7.15
16	1.16	2.16	3.16	4.16	5.16	6.16	7.16
17	1.17	2.17	3.17	4.17	5.17	6.17	7.17
18	1.18	2.18	3.18	4.18	5.18	6.18	7.18
19	1.19	2.19	3.19	4.19	5.19	6.19	7.19
20	1.20	2.20	3.20	4.20	5.20	6.20	7.20
21	1.21	2.21	3.21	4.21	5.21	6.21	7.21
22	1.22	2.22	3.22	4.22	5.22	6.22	7.22
23	1.23	2.23	3.23	4.23	5.23	6.23	7.23
24	1.24	2.24	3.24	4.24	5.24	6.24	7.24
25	1.25	2.25	3.25	4.25	5.25	6.25	7.25
26	1.26	2.26	3.26	4.26	5.26	6.26	7.26
27	1.27	2.27	3.27	4.27	5.27	6.27	7.27
28	1.28	2.28	3.28	4.28	5.28	6.28	7.28