

## Тема 1. Электрическое поле в вакууме. Принцип суперпозиции

1.1. Расстояние между точечными зарядами  $q_1 = 2$  нКл и  $q_2 = -2$  нКл равно  $d = 20$  см. Определить напряженность электрического поля, созданного этими зарядами в точке, находящейся на расстоянии  $r_1 = 15$  см от первого и  $r_2 = 10$  см от второго заряда.

1.2. Точечный заряд  $q = 40$  нКл находится на расстоянии  $a = 30$  см от бесконечной проводящей заземленной плоскости. Определить силу, действующую на заряд со стороны плоскости.

1.3. Кольцо радиусом  $R = 5$  см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью  $\tau = 14$  нКл/м. Определить напряженность поля на оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно к его плоскости, в точке, удаленной на расстояние  $h = 10$  см от центра.

1.4. Определить напряженность электрического поля в центре полукольца радиусом  $R = 10$  см, равномерно заряженного зарядом  $q = 20$  нКл.

1.5. Металлический шарик массой  $m = 10$  г, несущий электрический заряд  $q = 20$  мкКл, подвешен на изолирующей нити. При внесении его в однородное горизонтальное электрическое поле нить отклонилась на угол  $\alpha = 45^\circ$ . Определить напряженность электрического поля.

1.6. В вершинах квадрата со стороной  $a = 5$  см находятся одинаковые положительные заряды  $q = 2$  нКл. Определить напряженность электрического поля в середине одной из сторон.

1.7. Два точечных заряда  $q_1 = 2q$  и  $q_2 = -q$  находятся на расстоянии  $d = 10$  см друг от друга. Определить положение точки, в которой напряженность равна нулю.

1.8. Точечный заряд  $q = 40$  нКл находится на расстоянии  $a = 30$  см от бесконечной проводящей заземленной плоскости. Определить напряженность электрического поля в точке, лежащей на середине перпендикуляра, опущенного от заряда на плоскость.

1.9. На отрезке тонкого прямого проводника длиной  $l = 10$  см равномерно распределен заряд линейной с плотностью  $\tau = 2$  мкКл/м. Определить напряженность электрического поля в точке, лежащей на оси проводника на расстоянии  $a = 10$  см от ближайшего конца проводника.

1.10. Два маленьких металлических шарика массой  $m = 5$  г каждый подвешены на изолирующих нитях длиной  $l = 50$  см так, что они касаются друг друга. После сообщения каждому шарiku одинакового заряда нити отклонились от вертикали на угол  $\alpha = 30^\circ$ . Определить величину заряда  $q$ , сообщенного каждому шарiku.

## Тема 2. Электрическое поле в вакууме. Теорема Гаусса

2.1. Электрическое поле создано точечным электрическим зарядом  $q=200$  нКл. На расстоянии  $r=1$  м от точечного заряда находится небольшая круглая площадка радиусом  $R=1$  см, плоскость которой составляет угол  $\alpha=30^\circ$  с силовой линией электрического поля. Найти поток  $\Phi_E$  вектора напряженности через площадку.

2.2. На металлической сфере радиусом  $R=15$  см находится электрический заряд величиной  $q=2$  нКл. Построить график зависимости напряженности  $E$  электростатического поля от расстояния  $r$  до центра сферы.

2.3. Электрический заряд равномерно распределен с объемной плотностью  $\rho=100$  нКл/м<sup>3</sup> по области имеющий вид шара радиусом  $R=5$  см. Построить график зависимости напряженности  $E$  электростатического поля от расстояния  $r$  до центра шара.

2.4. Система представляет собой прямую бесконечно длинную нить, заряженную с линейной плотностью  $\tau=-10$  нКл/м, и соосную с ней бесконечно длинную цилиндрическую поверхность радиуса  $R=5$  см, по которой равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $\sigma=50$  нКл/м<sup>2</sup>. Построить график зависимости напряженности  $E$  электростатического поля от расстояния  $r$  до оси системы.

2.5. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд  $\sigma=1$  нКл/м<sup>2</sup>. Определить напряженность электрического поля между пластинами и вне пластин.

2.6. В однородном электрическом поле находится небольшая квадратная площадка со стороной  $a=2$  см, нормаль к которой составляет угол  $\alpha=60^\circ$  с силовыми линиями электрического поля. Найти напряженность  $E$  электрического поля, если поток вектора напряженности через площадку составляет  $\Phi_E=400$  мВ·м.

2.7. Точечный электрический заряд величиной  $q_1=2$  нКл окружен концентрической сферой радиусом  $R=10$  см, по которой равномерно распределен электрический заряд величиной  $q_2=-1$  нКл. Построить график зависимости напряженности  $E$  электростатического поля от расстояния  $r$  до центра системы.

2.8. Две концентрические металлические заряженные сферы радиусами  $R_1=6$  см и  $R_2=12$  см несут соответственно электрические заряды  $q_1=-1$  нКл и  $q_2=0,5$  нКл. Построить график зависимости напряженности  $E$  электростатического поля от расстояния  $r$  до центра системы.

2.9. Две коаксиальные заряженные цилиндрические поверхности радиусами  $R_1=2$  см и  $R_2=8$  см несут соответственно электрические заряды с поверхностной плотностью  $\sigma_1=12$  нКл/м<sup>2</sup> и  $\sigma_2=4$  нКл/м<sup>2</sup>. Построить график зависимости напряженности  $E$  электростатического поля от расстояния  $r$  до оси системы.

2.10. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными пластинами, несущими равномерно распределенный по площади заряд  $\sigma_1=2$  нКл/м<sup>2</sup> и  $\sigma_2=-1$  нКл/м<sup>2</sup>. Определить напряженность электрического поля между пластинами и вне пластин.

### Тема 3. Электрическое поле в вакууме. Потенциал

3.1. Кольцо радиусом  $R=5$  см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью  $\tau=14$  нКл/м. Определить потенциал электрического поля на оси, проходящей через центр кольца перпендикулярно к его плоскости, в точке, удаленной на расстояние  $h=10$  см от центра.

3.2. На плоском кольце внутренним радиусом  $R_1=80$  см и внешним радиусом  $R_2=1$  м равномерно распределен электрический заряд с поверхностной плотностью  $\sigma=10$  нКл/м<sup>2</sup>. Определить потенциал электрического поля в центре кольца.

3.3. Потенциал электрического поля, создаваемого системой зарядов, имеет вид  $\varphi = a(y^3 - 3yx^2)$ , где  $a=1$  В/м<sup>3</sup>. Найти модуль напряженности электрического поля в точке с координатами  $x=0,5$  м,  $y=0,5$  м.

3.4. Электрическое поле создано бесконечно длинной цилиндрической поверхностью радиусом  $R=10$  см, заряженной с поверхностной плотностью  $\sigma=40$  нКл/м<sup>2</sup>. Построить график зависимости потенциала  $\varphi$  электрического поля от расстояния  $r$  до оси системы.

3.5. Электрон движется вдоль прямой, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через его центр. Кольцо имеет радиус  $R=3$  см и электрический заряд  $q=20$  нКл. Какую скорость должен иметь электрон на большом удалении от кольца, чтобы он смог преодолеть кольцо?

3.6. Определить потенциал электрического поля в центре полукольца радиусом  $R=10$  см, равномерно заряженного зарядом  $q=20$  нКл.

3.7. На отрезке тонкого прямого проводника длиной  $l=10$  см равномерно распределен заряд линейной с плотностью  $\tau=2$  мкКл/м. Определить потенциал электрического поля в точке, лежащей на оси проводника на расстоянии  $a=10$  см от ближайшего конца проводника.

3.8. Потенциал электрического поля, создаваемого системой зарядов, имеет вид  $\varphi = a(x^2 - y^2)$ , где  $a=1$  В/м<sup>2</sup>. Найти модуль напряженности  $E$  электрического поля в точке с координатами  $x=0,5$  м,  $y=1$  м.

3.9. Электрическое поле создано сферой радиусом  $R=10$  см, заряженной с поверхностной плотностью  $\sigma=40$  нКл/м<sup>2</sup>. Построить график зависимости потенциала  $\varphi$  электрического поля от расстояния  $r$  до центра сферы.

3.10. В вершинах квадрата со стороной  $a=4$  см находятся заряды  $q=1$  нКл. Какую скорость приобретет протон, если он, двигаясь из центра квадрата вдоль прямой, перпендикулярной плоскости квадрата, пройдет расстояние  $s=1$  см.

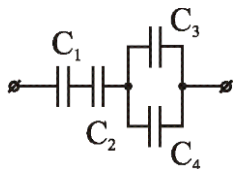
#### Тема 4. Электрическое поле в среде. Поле электрического диполя и поле в диэлектриках

- 4.1. Определить напряженность и потенциал электрического поля, созданного точечным диполем с электрическим дипольным моментом равным  $p=1$  пКл·м в точке, удаленной от него на расстояние  $r=15$  см, если угол между направлением дипольного момента и направлением на данную точку равен  $\alpha=45^\circ$ .
- 4.2. Два точечных диполя с электрическими моментами  $p_1=1$  пКл·м и  $p_2=4$  пКл·м находятся на расстоянии  $d=2$  см друг от друга. Найти силу их взаимодействия, если оси диполей лежат на одной прямой.
- 4.3. Диполь с электрическим моментом  $p=75$  пКл·м свободно устанавливается в однородном электрическом поле напряженностью  $E=80$  кВ/м. Вычислить работу, необходимую для того, чтобы повернуть диполь на угол  $\alpha=90^\circ$ .
- 4.4. Металлический шар радиусом  $R=5$  см окружен равномерно слоем фарфора ( $\epsilon=5$ ) толщиной  $d=2$  см. Определить поверхностную плотность  $\sigma'_2$  связанных зарядов на внешней поверхности диэлектрика. Заряд  $q$  шара равен 10 нКл.
- 4.5. Определить диэлектрическую восприимчивость  $\chi$  стекла, помещенного во внешнее электрическое поле напряженностью  $E_0=5$  МВ/м и обладающего поляризованностью  $P=37,9$  мкКл/м<sup>2</sup>.
- 4.6. Определить напряженность и потенциал электрического поля, созданного точечным диполем с электрическим дипольным моментом равным  $p=20$  пКл·м в точке, лежащей на оси диполя и удаленной от него на расстояние  $r=1$  м.
- 4.7. На расстоянии  $r=30$  см от точечного электрического заряда величиной  $q=100$  нКл находится точечный диполь с электрическим моментом  $p=5$  пКл·м, свободно установившийся в электрическом поле заряда. Найти силу взаимодействия заряда и диполя.
- 4.8. Диполь с электрическим моментом  $p=75$  пКл·м свободно установился в однородном электрическом поле напряженностью  $E=9$  кВ/м. Определить изменение потенциальной энергии диполя при повороте его на угол  $\alpha=45^\circ$ .
- 4.9. Эбонитовая ( $\epsilon=3$ ) плоскопараллельная пластина помещена в однородное электрическое поле напряженностью  $E_0=2$  МВ/м. Грани пластины перпендикулярны линиям напряженности. Определить модуль поверхностной плотности  $\sigma'$  связанных зарядов на гранях пластины.
- 4.10. В некоторой точке изотропного диэлектрика смещение имеет значение  $D=6$  мкКл/м<sup>2</sup>, а поляризованность  $P=5$  мкКл/м<sup>2</sup>. Чему равна диэлектрическая восприимчивость диэлектрика.

## Тема 5. Электрическое поле в среде. Электроемкость. Энергия электрического поля

5.1. Определить электроемкость цилиндрического воздушного конденсатора длиной  $l=10$  см, с радиусами обкладок  $R_1=1$  см и  $R_2=2$  см.

5.2. Определить емкость батареи конденсаторов:  $C_1=3$  пФ,  $C_2=6$  пФ,  $C_3=1$  пФ,  $C_4=1$  пФ.



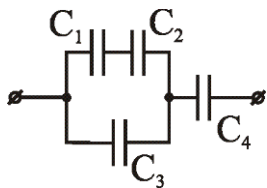
5.3. В плоский конденсатор вдвинули плитку парафина ( $\epsilon=2$ ) толщиной  $d=1$  см, которая вплотную прилегает к его обкладкам. На сколько нужно увеличить расстояние между обкладками, чтобы получить прежнюю емкость?

5.4. Между обкладками плоского конденсатора емкости  $C=200$  пФ находится плотно прилегающая стеклянная ( $\epsilon=7$ ) пластинка. Конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U=100$  В и отключен от источника. Какую работу нужно совершить, чтобы вытащить стеклянную пластинку из конденсатора?

5.5. Электрическое поле создано заряженной зарядом  $q=0,1$  мкКл сферой радиусом  $R=10$  см. Какова энергия поля, заключенная в объеме, ограниченном концентрическими со сферой сферическими поверхностями, радиусы которых в два и в три раза больше радиуса сферы.

5.6. Определить электроемкость воздушного сферического конденсатора с радиусами обкладок  $R_1=1$  см и  $R_2=2$  см.

5.7. Определить емкость батареи конденсаторов:  $C_1=2$  пФ,  $C_2=2$  пФ,  $C_3=2$  пФ,  $C_4=6$  пФ.



5.8. Между пластинами плоского конденсатора находятся два слоя диэлектриков: стекла ( $\epsilon_1=7$ ) толщиной  $d_1=7$  мм и эбонита ( $\epsilon_2=3$ ) толщиной  $d_2=3$  мм. Площадь  $S$  каждой обкладки конденсатора равна  $200$  см<sup>2</sup>. Найти электроемкость  $C$  конденсатора.

5.9. Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов  $U=200$  В. После отключения от источника тока расстояние между обкладками конденсатора было увеличено в  $n=3$  раза. Определить начальную емкость конденсатора, если работа  $A$  внешних сил по раздвижению обкладок равна  $0,4$  мДж.

5.10. Пластину из эбонита ( $\epsilon=3$ ) толщиной  $d=5$  мм и площадью  $S=300$  см<sup>2</sup> внесли в однородное электрическое поле напряженностью  $E=1$  кВ/м, таким образом, что силовые линии перпендикулярны поверхности пластины. Определить энергию  $W$  электрического поля, сосредоточенную в пластине.

## Тема 6. Электрическое поле в среде. Электрический ток

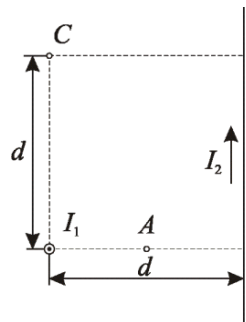
- 6.1. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону  $I(t) = kt$ , где  $k=0,5$  А/с. Найти заряд  $q$ , протекающий через поперечное сечение проводника за время  $\tau=1$  с.
- 6.2. Определить ток короткого замыкания  $I_{\text{кз}}$  источника ЭДС, если при внешнем сопротивлении  $R_1=50$  Ом ток в цепи  $I_1=0,2$  А, а при  $R=110$  Ом –  $I_2=0,1$  А.
- 6.3. ЭДС батареи аккумуляторов  $\mathcal{E}=2$  В, сила тока  $I_{\text{кз}}$  короткого замыкания равна 5 А. Какую наибольшую мощность  $P_{\text{max}}$  можно получить во внешней цепи, соединенной с такой батареей?
- 6.4. По медному проводнику сечением  $S=0,8$  мм<sup>2</sup> течет ток  $I=80$  мА. Найти среднюю скорость  $\langle v \rangle$  упорядоченного движения электронов вдоль проводника, предполагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон. Плотность меди  $\rho=8,9$  г/см<sup>3</sup>.
- 6.5. Напряженность электрического поля в стальном проводнике равна  $E=0,2$  В/м. Найти плотность тока в проводнике. Удельное сопротивление стали  $\rho=100$  нОм·м.
- 6.6. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону  $I(t) = kt^2$ , где  $k=2$  А/с<sup>2</sup>. Найти число электронов  $N$ , проходящих через поперечное сечение проводника за время  $\tau=0,5$  с.
- 6.7. Два элемента ( $\mathcal{E}_1=1,2$  В,  $r_1=0,1$  Ом;  $\mathcal{E}_2=0,9$  В,  $r_2=0,3$  Ом) соединены одноименными полюсами. Сопротивление  $R$  соединительных проводов равно 0,2 Ом. Определить силу тока  $I$  в цепи.
- 6.8. Элемент замыкают сначала на внешнее сопротивление  $R_1=2$  Ом, а затем на внешнее сопротивление  $R_2=0,5$  Ом. Найти ЭДС  $\mathcal{E}$  элемента и его внутреннее сопротивление  $r$ , если известно, что в каждом из этих случаев мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова и равна  $P_1=P_2=2,45$  Вт.
- 6.9. Определить суммарный импульс всех электронов в прямом проводнике длиной  $l=500$  м, по которому течет ток  $I=20$  А.
- 6.10. Определить напряженность  $E$  электрического поля в проводнике, если объемная плотность тепловой мощности равна  $\varpi=4$  кВт/м<sup>3</sup>, а плотность тока  $j=2$  А/мм<sup>2</sup>.

## Тема 7. Магнитное поле постоянного тока

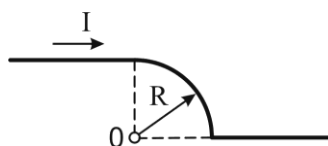
7.1. По тонкому проводящему кольцу радиусом  $R=30$  см течет ток  $I=20$  А. Найти напряженность  $H$  магнитного поля на оси кольца на расстоянии  $h=40$  см от его центра.

7.2. Расстояние  $d$  между двумя длинными параллельными проводами равно 10 см. По проводам в одном направлении текут одинаковые токи  $I=40$  А каждый. Найти индукцию  $B$  магнитного поля в точке, находящейся на расстоянии  $r_1=5$  см от одного и  $r_2=8$  см от другого провода.

7.3. Два бесконечно длинных прямых провода скрещены под прямым углом (см. рис.). По проводам текут токи  $I_1=80$  А и  $I_2=60$  А. Расстояние  $d$  между проводами равно 10 см. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке  $A$ , одинаково удаленной от обоих проводников.



7.4. По проводнику, форма которого изображена на рисунке, течет ток  $I=10$  А. Найти магнитную индукцию в точке  $O$ , если  $R=1$  см.

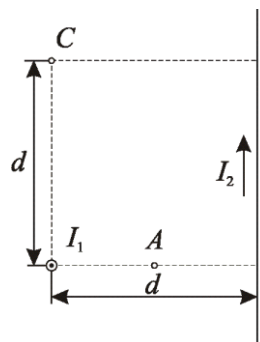


7.5. Определить максимальную магнитную индукцию поля, создаваемую электроном, движущимся прямолинейно со скоростью  $v=10$  Мм/с, в точке, отстоящей от траектории на  $r=1$  нм.

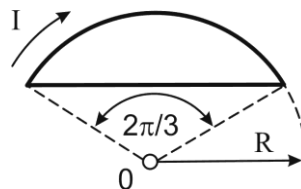
7.6. При какой силе тока  $I$ , текущего по тонкому проводящему кольцу радиусом  $R=0,2$  м, магнитная индукция в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстояние  $r=0,3$  м, станет равной  $B=20$  мкТл?

7.7. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи  $I_1=50$  А и  $I_2=100$  А в противоположных направлениях. Расстояние  $d$  между проводами равно 20 см. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке, удаленной на  $r_1=25$  см от первого и на  $r_2=40$  см от второго провода.

7.8. Два бесконечно длинных прямых провода скрещены под прямым углом (см. рис.). По проводам текут токи  $I_1=80$  А и  $I_2=60$  А. Расстояние  $d$  между проводами равно 10 см. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке  $C$ , одинаково удаленной от обоих проводников.



7.9. По проводнику, форма которого изображена на рисунке, течет ток  $I=10$  А. Найти магнитную индукцию в точке  $O$ , если  $R=1$  см.



7.10. На расстоянии  $r=10$  нм от траектории прямолинейно движущегося электрона максимальное значение магнитной индукции составляет  $B=160$  мкТл. Определить скорость электрона.

## Тема 8. Силы в магнитном поле

8.1. Квадратный контур со стороной  $a=50$  см и бесконечный прямой провод с током  $I=5$  А расположены в одной плоскости. Расстояние от провода до ближайшей стороны контура  $b=10$  см. Определить силу, действующую на контур, если сила тока в нем  $I_k=1$  А.

8.2. Рамка гальванометра длиной  $a=4$  см и шириной  $b=1,5$  см, содержащая  $N=200$  витков тонкой проволоки, находится в магнитном поле с индукцией  $B=0,1$  Тл. Плоскость рамки параллельна линиям индукции. Найти механический момент  $M$ , действующий на рамку, когда по витку течет ток  $I=1$  мА.

8.3. На горизонтальных рельсах лежит проводящая перемычка массой  $m=1$  кг и активной длиной  $l=20$  см. Система находится в однородном вертикальном магнитном поле индукцией  $B=0,2$  Тл. Если по перемычке пропустить ток силой  $I=10$  А, то перемычка будет двигаться с ускорением  $a=0,2$  м/с<sup>2</sup>. Найти коэффициент трения между рельсами и перемычкой.

8.4. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=100$  мкТл движется электрон по винтовой линии. Определить скорость  $v$  электрона, если шаг  $h$  винтовой линии равен 20 см, а радиус  $R=5$  см.

8.5. Перпендикулярно магнитному полю с индукцией  $B=0,1$  Тл возбуждено электрическое поле напряженностью  $E=100$  кВ/м. Перпендикулярно обоим полям движется, не отклоняясь от прямолинейной траектории, заряженная частица. Вычислить скорость  $v$  частицы.

8.6. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии  $d=10$  см друг от друга, текут одинаковые токи  $I=10$  А. Токи во всех проводах направлены одинаково. Вычислить силу  $F/l$ , действующую на единицу длины каждого провода.

8.7. Виток диаметром  $d=20$  см может вращаться около вертикальной оси, совпадающей с одним из диаметров витка. Виток установили в плоскости магнитного меридиана и пустили по нему ток  $I=5$  А. Механический момент  $M$ , который нужно приложить к витку, чтобы удержать его в начальном положении, равен 3,14 мН·м. Найти горизонтальную составляющую  $B_H$  магнитной индукции поля Земли.

8.8. Проводящая перемычка массой  $m=1$  кг и активной длиной  $l=30$  см лежит на гладких рельсах, составляющих угол  $\alpha=45^\circ$  с горизонтом. Система находится в вертикальном однородном магнитном поле индукцией  $B=2$  Тл. Ток какой силы нужно пропустить по перемычке, чтобы она находилась в покое?

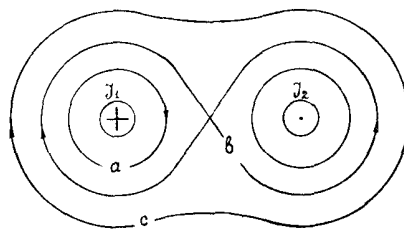
8.9. В однородном магнитном поле электрон движется по винтовой линии радиуса  $R=5$  см с шагом  $h=31,4$  см. Определить угол, который скорость электрона составляет с силовыми линиями магнитного поля.

8.10. Протон влетает со скоростью  $v=100$  км/с в область пространства, где имеются электрическое ( $E=210$  В/м) и магнитное ( $B=3,3$  мТл) поля. Напряженность  $\vec{E}$  электрического поля и магнитная индукция  $\vec{B}$  совпадают по направлению. Определить ускорение протона для начального момента движения в поле, если направление вектора его скорости  $\vec{v}$  перпендикулярно направлению векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$ .



## Тема 9. Магнитное поле в веществе. Магнитный поток. Закон полного тока

9.1. Определить циркуляцию вектора  $\vec{H}$  напряженности магнитного поля вдоль контуров  $a$ ,  $b$  и  $c$  (см. рис.), если перпендикулярно плоскости контуров текут одинаковые по величине токи  $I_1=I_2=8$  А.



9.2. По сечению проводника равномерно распределен ток плотностью  $j=2$  МА/м<sup>2</sup>. Найти циркуляцию вектора напряженности магнитного поля вдоль окружности радиусом  $R=5$  мм, проходящей внутри проводника и ориентированной так, что ее плоскость составляет угол  $\alpha=30^\circ$  с вектором плотности тока.

9.3. Найти магнитный поток, создаваемый соленоидом сечением  $S=10$  см<sup>2</sup> при силе тока  $I=5$  А, если он имеет  $n=10$  витков на каждый сантиметр длины.

9.4. Плоская квадратная рамка со стороной  $a=20$  см лежит в одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводом, по которому течет ток  $I=5$  А. Рамка расположена так, что ближайшая к проводу сторона параллельна проводу и находится на расстоянии  $b=10$  см от него. Определить магнитный поток через рамку.

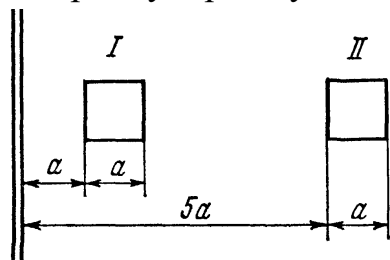
9.5. Висмутовый шарик радиусом  $R=1$  см помещен в однородное магнитное поле индукцией  $B=0,5$  Тл. Определить магнитный момент, приобретенный шариком, если магнитная восприимчивость висмута равна  $\chi=-1,5 \cdot 10^{-4}$ .

9.6. Вычислить циркуляцию вектора магнитной индукции вдоль контура, охватывающего токи  $I_1=10$  А,  $I_2=15$  А, текущие в одном направлении, и ток  $I_3=20$  А, текущий в противоположном направлении.

9.7. Диаметр тороида без сердечника по средней линии равен  $D=30$  см. В сечении тороид имеет круг радиусом  $r=5$  см. По обмотке тороида, содержащей  $N=2000$  витков, течет ток  $I=5$  А. Пользуясь законом полного тока, определить минимальное значение напряженности  $H_{\min}$  магнитного поля в тороиде.

9.8. Соленоид длиной  $l=1$  м и сечением  $S=16$  см<sup>2</sup> содержит  $N=2000$  витков. Определить потокосцепление  $\Psi$  соленоида при силе тока  $I=10$  А.

9.9. Плоская квадратная рамка лежит в одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводом. Во сколько раз отличаются магнитные потоки, пронизывающие рамку, при двух ее положениях I и II, представленных на рисунке?



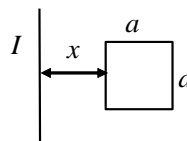
9.10. Напряженность магнитного поля в меди равна  $H=1$  МА/м. Определить намагниченность  $J$  меди и магнитную индукцию  $B$  в ней, если удельная восприимчивость меди равна  $\chi_{\text{уд}}=-1,1 \cdot 10^{-9}$  м<sup>3</sup>/кг, а плотность  $\rho=8900$  кг/м<sup>3</sup>.

## Тема 10. Электромагнитное поле. Электромагнитная индукция

10.1. Плоский контур, площадь которого равна  $S=300 \text{ см}^2$ , находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,01 \text{ Тл}$ . Плоскость контура перпендикулярна линиям индукции. В контуре поддерживается неизменный ток  $I=10 \text{ А}$ . Определить работу внешних сил по перемещению контура с током в область пространства, магнитное поле в котором отсутствует ( $B=0$ ).

10.2. Горизонтальный стержень длиной  $l=1 \text{ м}$  вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через один из его концов. Ось вращения параллельна магнитному полю, индукция которого  $B=50 \text{ мкТл}$ . При какой частоте  $\nu$  вращения стержня разность потенциалов на концах этого стержня равна  $U=1 \text{ мВ}$ ?

10.3. Квадратная рамка со стороной  $a$  и длинный прямой проводник с током  $I$  находятся в одной плоскости (см. рис.). Рамку поступательно перемещают вправо с постоянной скоростью  $v$ . Найти ЭДС индукции в рамке как функцию  $\mathcal{E}(x)$ , где  $x$  – расстояние между проводом и рамкой.



10.4. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=1 \text{ Тл}$  находится прямой провод длиной  $l=20 \text{ см}$ , концы которого замкнуты вне поля. Сопротивление всей цепи равно  $R=0,1 \text{ Ом}$ . Определить силу, которую нужно приложить к проводу, чтобы перемещать его перпендикулярно к линиям магнитной индукции со скоростью  $v=2,5 \text{ м/с}$ .

10.5. Проволочное кольцо радиусом  $r=4 \text{ см}$ , имеющее сопротивление  $R=0,01 \text{ Ом}$ , находится в однородном магнитном поле с индукцией  $B=0,04 \text{ Тл}$ . Плоскость кольца составляет угол  $\alpha=30^\circ$  с линиями индукции поля. Какое количество электричества  $q$  протечет по кольцу, если магнитное поле исчезнет?

10.6. По кольцу, сделанному из тонкого гибкого провода радиусом  $r=10 \text{ см}$ , течет ток  $I=10 \text{ А}$ . Перпендикулярно к плоскости кольца возбуждено магнитное поле индукцией  $B=0,1 \text{ Тл}$ , по направлению совпадающее с направлением собственного магнитного поля кольца. Определить работу внешних сил, которые деформируя контур, придали ему форму квадрата. Работой против упругих сил пренебречь.

10.7. В однородном магнитном поле, индукция которого  $B=0,8 \text{ Тл}$ , равномерно вращается рамка с угловой скоростью  $\omega=15 \text{ рад/с}$ . Площадь рамки равна  $S=150 \text{ см}^2$ . Ось вращения находится в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Найти максимальную ЭДС индукции во вращающейся рамке.

10.8. Проволочный контур площадью  $S=100 \text{ см}^2$  и сопротивлением  $R=0,01 \text{ Ом}$  находится в однородном магнитном поле. Плоскость контура составляет угол  $\alpha=30^\circ$  с линиями магнитной индукции. Определить тепловую мощность, выделяющуюся в контуре при изменении магнитного поля со скоростью  $\Delta B/\Delta t=0,2 \text{ Тл/с}$ .

10.9. В однородном магнитном поле с индукцией  $B=1 \text{ Тл}$  находится прямой провод длиной  $l=10 \text{ см}$ , концы которого замкнуты вне поля. Сопротивление всей цепи равно  $R=0,4 \text{ Ом}$ . Какая мощность потребуется для того, чтобы перемещать провод перпендикулярно к линиям магнитной индукции со скоростью  $v=20 \text{ м/с}$ .

10.10. Проволочное кольцо радиусом  $r=10 \text{ см}$ , имеющее сопротивление  $R=1 \text{ Ом}$ , лежит на столе. Какое количество электричества  $q$  протечет по кольцу, если его перевернуть, с одной стороны на другую? Вертикальная составляющая магнитного поля Земли равна  $B_V=50 \text{ мкТл}$ .

## Тема 11. Электромагнитное поле. Самоиндукция. Энергия магнитного поля

11.1. Найти индуктивность  $L$  соленоида длиной  $l$ , обмоткой которого является медная проволока массой  $m$ . Сопротивление обмотки  $R$ . Диаметр  $D$  соленоида значительно меньше его длины ( $D \ll l$ ).

11.2. Две катушки намотаны на один сердечник. Индуктивность первой катушки  $L_1 = 0,12$  Гн, а второй –  $L_2 = 3$  Гн. Сопротивление в цепи второй катушки  $R_2 = 60$  Ом. Определите силу тока во второй катушке, если за время  $\Delta t = 0,01$  силу тока в первой катушке равномерно уменьшить от  $I_1 = 1$  А до нуля.

11.3. Катушку индуктивности  $L = 300$  мГн и сопротивления  $R = 140$  мОм, подключили к источнику постоянного напряжения. Через сколько времени ток через катушку достигнет  $\eta = 50\%$  установившегося значения.

11.4. Обмотка электромагнита, находясь под постоянным напряжением, имеет сопротивление  $R = 10$  Ом и индуктивность  $L = 0,3$  Гн. Определите время, за которое в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике.

11.5. Индуктивность соленоида при длине  $l = 1$  м и площади поперечного сечения  $S = 20$  см<sup>2</sup> равна  $L = 0,4$  мГн. Определить силу тока в соленоиде, при которой объемная плотность энергии магнитного поля равна  $\varpi = 0,1$  Дж/м<sup>3</sup>.

11.6. Сколько метров тонкого провода надо взять для изготовления соленоида длины  $l = 100$  см с индуктивностью  $L = 1$  мГн, если диаметр  $D$  сечения соленоида значительно меньше его длины ( $D \ll l$ )?

11.7. Две катушки намотаны на один сердечник. Индуктивность первой катушки  $L_1 = 1$  Гн, а второй –  $L_2 = 4$  Гн. Определите максимальную ЭДС возбуждаемую во второй катушке, если сила тока в первой катушке меняется по закону  $I_1 = I_0 \cos(2\pi \nu t)$ , где  $I_0 = 1$  А, а  $\nu = 50$  Гц.

11.8. Активное сопротивление катушки индуктивности составляет  $R = 0,2$  Ом. Если катушку отсоединить от источника тока и замкнуть накоротко, то ток уменьшается в  $n = 10$  раз в течение  $t = 3$  с. Определить индуктивность  $L$  катушки.

11.9. Сила тока в обмотке соленоида, содержащего  $N = 1500$  витков, равна  $I = 5$  А. Магнитный поток через сечение соленоида составляет  $\Phi = 50$  мкВб. Определите энергию  $W$  магнитного поля в соленоиде.

11.10. Обмотка тонкого тороида с немагнитным сердечником содержит  $n = 10$  витков на каждый сантиметр длины. Чему равна объемная плотность энергии  $\varpi$  магнитного поля в тороиде при силе тока  $I = 5$  А.

## Тема 12. Электромагнитное поле. Электромагнитные колебания

12.1. В контуре, состоящем из конденсатора емкости  $C$  и катушки с индуктивностью  $L$ , совершаются свободные незатухающие колебания, при которых амплитуда напряжения на конденсаторе равна  $U_m$ . Найти связь между током в контуре и напряжением на конденсаторе в виде  $f(I, U) = \text{const}$ .

12.2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкости  $C$ , катушки с индуктивностью  $L$  и пренебрежимо малым активным сопротивлением и ключа. При разомкнутом ключе конденсатор зарядили до напряжения  $U_m$  и затем замкнули ключ. Определить отношение энергии магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля в момент времени равный  $T/8$ .

12.3. Частота свободных затухающих колебаний в колебательном контуре  $\nu = 1 \text{ кГц}$ . Найти собственную частоту колебаний  $\nu_0$ , если добротность контура  $Q = 2$ .

12.4. Определить логарифмический декремент, при котором энергия колебательного контура за  $N = 5$  периодов уменьшается в  $n = 8$  раз.

12.5. Цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора и катушки с активным сопротивлением, подсоединена к генератору синусоидального напряжения, частоту которого можно менять, не изменяя его амплитуды. При частотах  $\omega_1$  и  $\omega_2$  амплитуды тока оказались одинаковыми. Определить резонансную частоту.

12.6. Ток в колебательной системе зависит от времени как  $I = I_m \sin(\omega t)$ , где  $I_m = 9 \text{ мА}$ ,  $\omega = 4,5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ . Емкость конденсатора  $C = 0,5 \text{ мкФ}$ . Определить индуктивность контура и напряжение на конденсаторе в момент времени  $t = 0$ .

12.7. Колебательный контур состоит из конденсатора емкости  $C$ , катушки с индуктивностью  $L$  и пренебрежимо малым активным сопротивлением и ключа. При разомкнутом ключе конденсатор зарядили до напряжения  $U_m$  и затем замкнули ключ. Определить ЭДС самоиндукции  $\mathcal{E}_S$  в катушке в моменты времени, когда энергия электрического поля в конденсаторе равна энергии магнитного поля в катушке.

12.8. Определить минимальное активное сопротивление  $R_{\min}$  при разрядке конденсатора емкости  $C = 1,2 \text{ нФ}$ , при котором разряд будет аperiodическим, если индуктивность проводов  $L = 3 \text{ мкГн}$ .

12.9. Частота  $\nu$  затухающих колебаний в колебательном контуре с добротностью  $Q = 2500$  равна  $550 \text{ Гц}$ . Определить время, за которое амплитуда тока в этом контуре уменьшится в  $n = 4$  раза.

12.10. Какой должна быть добротность контура, чтобы частота, при которой наступает резонанс тока, отличалась от частоты, при которой наступает резонанс напряжения на конденсаторе, не более чем на 1%?