

**СБОРНИК  
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ**

**по разделу «Электричество и магнетизм»**

**Составитель :            доц. В.И. Чернобай**

**Санкт-Петербург  
2009**

## **Указания к выполнению заданий и контрольных работ.**

Номера вариантов и темы заданий определяет преподаватель.

Задания и контрольные работы выполняются в печатном виде на листах формата А4.

Каждая следующая задача должна начинаться с новой страницы. Условия задач переписываются полностью, без сокращений.

В решении необходимо указать основные законы и формулы, на которых базируется решение задачи, дать словесную формулировку этих законов, разъяснить смысл символов, употребляемых в записи формул. Если при решении задачи применяется формула, справедливая для частного случая, не выражающая какой-либо физической закон или не являющаяся определением физической величины, то ее следует вывести.

Во всех случаях, когда это возможно, должен быть представлен чертеж, поясняющий задачу. Решение задачи должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями.

Результат должен быть получен в общем виде, сделана проверка, дает ли рабочая формула правильную размерность искомой величины, подставлены числовые данные и получен окончательный числовой результат.

Все величины, входящие в условие задачи, выразить в единицах одной системы (преимущественно СИ) и для наглядности выписать столбиком.

## 1. Электростатика

1. 1. Сила гравитационного притяжения двух водяных одинаково заряженных капель радиусами 0,1 мм уравновешивается кулоновской силой отталкивания. Определить заряд капель. Плотность воды равна 1 г/см<sup>3</sup>.
1. 2. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускаются в керосин плотностью 0,8 г/см<sup>3</sup>. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был один и тот же? Диэлектрическая проницаемость керосина  $\epsilon = 2$ .
1. 3. В вершинах равностороннего треугольника находятся одинаковые положительные заряды  $Q = 2$  нКл. Какой отрицательный заряд  $Q$  необходимо поместить в центр треугольника, чтобы сила притяжения с его стороны уравнесила силы отталкивания положительных зарядов?
1. 4. Свинцовый шарик ( $\rho = 11,3$  г/см<sup>3</sup>) диаметром 0,5 см помещен в глицерин ( $\rho = 1,26$  г/см<sup>3</sup>). Определить заряд шарика, если в однородном электростатическом поле шарик оказался взвешенным в глицерине. Электростатическое поле направлено вертикально вверх, и его напряженность  $E = 4$  кВ/см.
1. 5. Определить напряженность электростатического поля в точке А, расположенной вдоль прямой, соединяющей заряды  $Q_1 = 10$  нКл и  $Q_2 = -8$  нКл и находящейся на расстоянии  $R = 8$  см от отрицательного заряда. Расстояние между зарядами  $L = 20$  см.
1. 6. Два точечных заряда  $Q_1 = 4$  нКл и  $Q_2 = -2$  нКл находятся друг от друга на расстоянии 60 см. Определить напряженность  $E$  поля в точке, лежащей посередине между зарядами. Чему равна напряженность, если второй заряд положительный?
1. 7. Определить напряженность поля, создаваемого диполем с электрическим моментом  $p = 10^{-9}$  Кл·м на расстоянии  $R = 25$  см от центра диполя в направлении, перпендикулярном оси диполя.
1. 8. Расстояние  $L$  между зарядами  $Q = \pm 2$  нКл равно 20 см. Определить напряженность  $E$  поля, созданного этими зарядами в точке, находящейся на расстоянии  $R_1 = 15$  см от первого и  $R_2 = 10$  см от второго заряда.
1. 9. В вершинах квадрата со стороной 5 см находятся одинаковые положительные заряды  $Q = 2$  нКл. Определить напряженность

электростатического поля: 1) в центре квадрата; 2) в середине одной из сторон квадрата. .

1. 10. Кольцо радиусом  $R = 5$  см из тонкой проволоки равномерно заряжено с линейной плотностью  $q = 14$  нКл/м. Определить напряженность поля на оси, проходящей через центр кольца, в точке А, удаленной на расстоянии  $d = 10$  см от центра кольца.
1. 11. Определить поверхностную плотность заряда, создающего вблизи поверхности Земли напряженность  $E = 200$  В/м.
1. 12. Под действием электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости точечный заряд  $Q = 1$  нКл переместился вдоль силовой линии на расстояние  $R = 1$  см; при этом совершена работа 5 мкДж. Определить поверхностную плотность заряда на плоскости.
1. 13. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно одноименными зарядами с поверхностной плотностью соответственно  $\sigma_1 = 2$  нКл/м<sup>2</sup> и  $\sigma_2 = 4$  нКл/м<sup>2</sup>. Определить напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. Построить график изменения напряженности поля вдоль линии, перпендикулярной плоскостям. .
1. 14. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно разноименными зарядами с поверхностной плотностью  $\sigma_1 = 1$  нКл/м<sup>2</sup> и  $\sigma_2 = 2$  нКл/м<sup>2</sup>. Определить напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей. Построить график изменения напряженности поля вдоль линии, перпендикулярной плоскостям.
1. 15. На металлической сфере радиусом 15 см находится заряд  $Q = 2$  нКл. Определить напряженность  $E$  электростатического поля: 1) на расстоянии  $r_1 = 10$  см от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии  $r_2 = 20$  см от центра сферы. Построить график зависимости  $E(R)$ .
1. 16. Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами радиусами  $R_1 = 5$  см и  $R_2 = 8$  см. Заряды сфер соответственно равны  $Q_1 = 2$  нКл и  $Q_2 = -1$  нКл. Определить напряженность электростатического поля в точках,

лежащих от центра сфер на расстояниях: 1)  $R_1 = 3$  см; 2)  $R_2 = 6$  см; 3)  $R_3 = 10$  см. Построить график зависимости  $E(R)$ .

1. 17. Шар радиусом  $R = 10$  см заряжен равномерно с объемной плотностью  $\rho = 10$  нКл/м<sup>3</sup>. Определить напряженность электростатического поля: 1) на расстоянии  $R_1 = 5$  см от центра шара; 2) на расстоянии  $R_2 = 15$  см от центра шара. Построить зависимость  $E(R)$ .
1. 18. Длинный прямой провод, расположенный в вакууме, несет заряд, равномерно распределенный по всей длине провода с линейной плотностью  $2$  нКл/м. Определить напряженность  $E$  электростатического поля на расстоянии  $R = 1$  м от провода.
1. 19. Внутренний цилиндрический проводник длинного прямолинейного коаксиального провода радиусом  $R = 1,5$  мм заряжен с линейной плотностью  $\tau_1 = 0,20$  нКл/м. Внешний цилиндрический проводник этого провода радиусом  $R_2 = 3$  мм заряжен с линейной плотностью  $\tau_2 = -0,15$  нКл/м. Пространство между проводниками заполнено резиной ( $\epsilon = 3$ ). Определить напряженность электростатического поля в точках, лежащих от оси провода на расстояниях: 1)  $R_1 = 1$  мм; 2)  $R_2 = 2$  мм; 3)  $R_3 = 5$  мм.
1. 20. Электростатическое поле создается положительно заряженной с постоянной поверхностной плотностью  $\sigma = 10$  нКл/м<sup>2</sup> бесконечной плоскостью. Какую работу надо совершить для того, чтобы перенести электрон вдоль линии напряженности с расстояния  $R_1 = 2$  см до  $R_2 = 1$  см?
1. 21. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью с постоянной линейной плотностью  $\tau = 1$  нКл/см. Какую скорость приобретет электрон, приблизившись под действием поля к нити вдоль линии напряженности с расстояния  $R_1 = 1,5$  см до  $R_2 = 1$  см?
1. 22. Одинаковые заряды  $Q = 100$  нКл расположены в вершинах квадрата со стороной  $d = 10$  см. Определить потенциальную энергию этой системы.
1. 23. В боровской модели атома водорода электрон движется по круговой орбите радиусом  $R = 52,8$  пм, в центре которой находится протон. Определить: 1) скорость электрона на орбите; 2) потенциальную энергию электрона в поле ядра, выразив ее в электронвольтах.

1. 24. Кольцо радиусом  $R = 5$  см из тонкой проволоки несет равномерно распределенный заряд  $Q = 10$  нКл. Определить потенциал  $\varphi$  электростатического поля: 1) в центре кольца; 2) на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстояние  $d = 10$  см от центра кольца.
1. 25. На кольце с внутренним радиусом 80 см и внешним 1 м равномерно распределен заряд 10 нКл. Определить потенциал в центре кольца.
1. 26. Металлический шар радиусом 5 см несет заряд  $Q = 10$  нКл. Определить потенциал  $\varphi$  электростатического поля: 1) на поверхности шара; 2) на расстоянии  $d = 2$  см от его поверхности. Построить график зависимости  $\varphi(R)$ .
1. 27. Полый шар несет на себе равномерно распределенный заряд. Определить радиус шара, если потенциал в центре шара равен  $\varphi_1 = 200$  В, а в точке, лежащей от его центра на расстоянии  $R = 50$  см,  $\varphi_2 = 40$  В.
1. 28. Электростатическое поле создается положительным точечным зарядом. Определить числовое значение и направление градиента потенциала этого поля, если на расстоянии  $R = 10$  см от заряда потенциал равен  $\varphi = 100$  В.
1. 29. Электростатическое поле создается бесконечной плоскостью, заряженной равномерно с поверхностной плотностью  $\sigma = 5$  нКл/м<sup>2</sup>. Определить числовое значение и направление градиента потенциала этого поля.
1. 30. Электростатическое поле создается бесконечной прямой нитью, заряженной равномерно с линейной плотностью  $\tau = 50$  пКл/см. Определить числовое значение и направление градиента потенциала в точке на расстоянии  $R = 0,5$  м от нити.
1. 31. Определить линейную плотность бесконечно длинной заряженной нити, если работа сил поля по перемещению заряда  $Q = 1$  нКл с расстояния  $R_1 = 5$  см до  $r_2 = 2$  см в направлении, перпендикулярном нити, равно 50 мкДж.
1. 32. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью. Протон, двигаясь от нити под действием поля вдоль линии напряженности с расстояния  $R = 1$  см до  $R_2 = 5$  см, изменил свою скорость от 1 до 10 Мм/с. Определить линейную плотность заряда нити.

1. 33. Электростатическое поле создается бесконечной плоскостью, равномерно заряженной с поверхностной плотностью  $\sigma = 1 \text{ нКл/м}^2$ . Определить разность потенциалов между двумя точками этого поля, лежащими на расстояниях  $x_1 = 20 \text{ см}$  и  $x_2 = 50 \text{ см}$  от плоскости.
1. 34. Определить поверхностную плотность зарядов на пластинах плоского слюдяного ( $\epsilon = 7$ ) конденсатора, заряженного до разности потенциалов  $U = 200 \text{ В}$ , если расстояние между его пластинами равно  $d = 0,5 \text{ мм}$ .
1. 35. Электростатическое поле создается равномерно заряженной сферической поверхностью радиусом  $R = 10 \text{ см}$  с общим зарядом  $Q = 15 \text{ нКл}$ . Определить разность потенциалов между двумя точками этого поля, лежащими на расстояниях  $R_1 = 5 \text{ см}$  и  $R_2 = 15 \text{ см}$  от поверхности сферы.
1. 36. Электростатическое поле создается сферой радиусом  $R = 5 \text{ см}$ , равномерно заряженной с поверхностной плотностью  $\sigma = 1 \text{ нКл/м}^2$ . Определить разность потенциалов между двумя точками поля, лежащими на расстояниях  $R_1 = 10 \text{ см}$  и  $R_2 = 15 \text{ см}$  от центра сферы.
1. 37. Электростатическое поле создается равномерно заряженным шаром радиусом  $R = 1 \text{ м}$  с общим зарядом  $Q = 50 \text{ нКл}$ . Определить разность потенциалов для точек, лежащих от центра шара на расстояниях: 1)  $R_1 = 1,5 \text{ м}$  и  $R_2 = 2 \text{ м}$ , 2)  $R_1 = 0,3 \text{ м}$  и  $R_2 = 0,8 \text{ м}$ .
1. 38. Электростатическое поле создается шаром радиусом  $R = 8 \text{ см}$ , равномерно заряженным с объемной плотностью  $\rho = 10 \text{ нКл/м}^3$ . Определить разность потенциалов между двумя точками этого поля, лежащими на расстоянии  $R_1 = 10 \text{ см}$  и  $R_2 = 15 \text{ см}$  от центра шара.
1. 39. Электростатическое поле создается шаром радиусом  $R = 10 \text{ см}$ , равномерно заряженным с объемной плотностью  $\rho = 20 \text{ нКл/м}^3$ . Определить разность потенциалов между точками, лежащими внутри шара на расстояниях  $R_1 = 2 \text{ см}$  и  $R_2 = 8 \text{ см}$  от его центра.
1. 40. Электростатическое поле создается бесконечным цилиндром радиусом  $8 \text{ мм}$ , равномерно заряженным с линейной плотностью  $\varphi = 10 \text{ нКл/м}$ . Определить разность потенциалов между двумя точками этого поля, лежащими на расстоянии  $R_1 = 2 \text{ мм}$  и  $R_2 = 7 \text{ мм}$  от поверхности этого цилиндра.

1. 41. В однородное электростатическое поле напряженностью  $E_0 = 700$  В/м перпендикулярно полю помещается бесконечная плоскопараллельная стеклянная пластина ( $\epsilon = 7$ ). Определить: 1) напряженность электростатического поля внутри пластины; 2) электрическое смещение внутри пластины; 3) поляризованность стекла; 4) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле. .
1. 42. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено парафином ( $\epsilon = 2$ ). Расстояние между пластинами  $d = 8,85$  мм. Какую разность потенциалов необходимо подать на пластины, чтобы поверхностная плотность связанных зарядов на парафине составляла  $0,1$  нКл/см<sup>2</sup>?
1. 43. Расстояние между пластинами плоского конденсатора составляет  $d = 5$  мм. После зарядки конденсатора до разности потенциалов  $U = 500$  В между пластинами конденсатора вдвинули стеклянную пластинку ( $\epsilon = 7$ ). Определить: 1) диэлектрическую восприимчивость стекла; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на стеклянной пластинке .
1. 44. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на слюдяной пластинке ( $\epsilon = 7$ ) толщиной  $d = 1$  мм, служащей изолятором плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами конденсатора  $U = 300$  В.
1. 45. Между пластинами плоского конденсатора помещено два слоя диэлектрика — слюдяная пластинка ( $\epsilon = 7$ ) толщиной  $d_1 = 1$  мм и парафин ( $\epsilon = 2$ ) толщиной  $d_2 = 0,5$  мм. Определить: 1) напряженности электростатических полей в слоях диэлектрика; 2) электрическое смещение, если разность потенциалов между пластинами конденсатора  $U = 500$  В. .
1. 46. Расстояние между пластинами плоского конденсатора составляет  $d = 1$  см, разность потенциалов  $U = 200$  В. Определить поверхностную плотность  $\sigma$  связанных зарядов эбонитовой пластинки ( $\epsilon = 3$ ) толщиной  $d = 8$  мм, помещенной на нижнюю пластину конденсатора. .
1. 47. Свободные заряды равномерно распределены с объемной плотностью  $\rho = 5$  нКл/м<sup>3</sup> по шару радиусом  $R = 10$  см из однородного изотропного диэлектрика с проницаемостью  $\epsilon = 5$ . Определить напряженность электростатического поля на расстояниях  $R_1 = 5$  см и  $R_2 = 15$  см от центра шара.

1. 48. Расстояние между пластинами плоского конденсатора  $d = 5$  мм, разность потенциалов  $U = 1,2$  кВ. Определить: 1) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на диэлектрике, если известно, что диэлектрическая восприимчивость диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами,  $\chi = 1$ .
1. 49. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ( $\epsilon = 7$ ). Расстояние между пластинами  $d = 5$  мм, разность потенциалов  $U = 1$  кВ. Определить: 1) напряженность поля в стекле; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 3) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле.
1. 50. Определить расстояние между пластинами плоского конденсатора, если между ними приложена разность потенциалов  $U = 150$  В, причем площадь каждой пластины  $S = 100$  см<sup>2</sup>, ее заряд  $Q = 10$  нКл. Диэлектриком служит слюда ( $\epsilon = 7$ ).
1. 51. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов  $U_1 = 500$  В. Площадь пластин  $S = 200$  см<sup>2</sup>, расстояние между ними  $d = 1,5$  мм. После отключения конденсатора от источника напряжения в пространство между пластинами внесли парафин ( $\epsilon = 2$ ). Определить разность потенциалов  $U_2$  между пластинами после внесения диэлектрика. Определить также емкости конденсатора  $C_1$  и  $C_2$  до и после внесения диэлектрика.
1. 52. Решить предыдущую задачу для случая, когда парафин вносится в пространство между пластинами при включенном источнике напряжения. Ответ:  $U_2 = 500$  В,  $C_1 = 118$  пФ;  $C_2 = 236$  пФ.
1. 53. Определить емкость коаксиального кабеля длиной 10 м, если радиус его центральной жилы  $R_1 = 1$  см, радиус оболочки  $R_2 = 1,5$  см, а изоляционным материалом служит резина ( $\epsilon = 2,5$ ).
1. 54. Определить напряженность электростатического поля на расстоянии  $d = 1$  см от оси коаксиального кабеля, если радиус его центральной жилы  $R_1 = 0,5$  см, а радиус оболочки  $R_2 = 1,5$  см. Разность потенциалов между центральной жилой и оболочкой  $U = 1$  кВ.

1. 55. Сферический конденсатор состоит из двух концентрических сфер радиусами  $R_1 = 5$  см и  $R_2 = 5,5$  см. Пространство между обкладками конденсатора заполнено маслом ( $\epsilon = 2,2$ ). Определить: 1) емкость этого конденсатора; 2) шар какого радиуса, помещенный в масло, обладает такой емкостью.
1. 56. Определить напряженность электростатического поля на расстоянии  $x = 2$  см от центра воздушного сферического конденсатора, образованного двумя шарами (внутренний радиус  $R_1 = 1$  см, внешний  $r_2 = 3$  см), между которыми приложена разность потенциалов  $U = 1$  кВ.
1. 57. Два плоских воздушных конденсатора одинаковой емкости соединены параллельно и заряжены до разности потенциалов  $U = 300$  В. Определить разность потенциалов этой системы, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнено слюдой ( $\epsilon = 7$ ).
1. 58. Разность потенциалов на системе последовательно соединенных конденсаторов  $U = 9$  В. Емкости конденсаторов соответственно равны  $C_1 = 3$  мкФ и  $C_2 = 6$  мкФ. Определить: 1) заряды  $Q_1$  и  $Q_2$ ; 2) разности потенциалов  $U_1$  и  $U_2$  на обкладках каждого конденсатора.
1. 59. Емкость батареи конденсаторов, образованной двумя последовательно соединенными конденсаторами,  $C = 100$  пФ, а заряд  $Q = 20$  нКл. Определить емкость второго конденсатора, а также разности потенциалов на обкладках каждого конденсатора, если  $C_1 = 200$  пФ.
1. 60. Уединенная металлическая сфера емкостью  $C = 4$  пФ заряжена до потенциала  $\phi = 1$  кВ. Определить энергию поля, заключенную в сферическом слое между сферой и концентрической с ней сферической поверхностью, радиус которой в 4 раза больше радиуса уединенной сферы.
1. 61. Две концентрические проводящие сферы радиусами  $R_1 = 20$  см и  $R_2 = 50$  см заряжены соответственно одинаковыми зарядами  $Q = 100$  нКл. Определить энергию электростатического поля, заключенного между этими сферами.
1. 62. Сплошной эбонитовый шар ( $\epsilon = 3$ ) радиусом  $R = 5$  см заряжен равномерно с объемной плотностью  $\rho = 10$  нКл/м<sup>3</sup>. Определить энергию электростатического поля, заключенную внутри шара.

1. 63. Сплошной шар из диэлектрика радиусом  $R = 5$  см заряжен равномерно с объемной плотностью  $\rho = 10$  нКл/м<sup>3</sup>. Определить энергию электростатического поля, заключенную в окружающем шар пространстве. .
1. 64. Шар, погруженный в масло ( $\epsilon = 2,2$ ), имеет поверхностную плотность заряда  $\sigma = 1$  мкКл/м<sup>2</sup> и потенциал  $\varphi = 500$  В. Определить: 1) радиус шара; 2) заряд шара; 3) емкость шара; 4) энергию шара.
1. 65. В однородное электростатическое поле напряженностью  $E_0 = 700$  В/м перпендикулярно полю поместили стеклянную пластинку ( $\epsilon = 7$ ) толщиной  $d = 1,5$  мм и площадью  $200$  см<sup>2</sup>. Определить: 1) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле; 2) энергию электростатического поля, сосредоточенную в пластине. .
1. 66. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C = 10$  пФ заряжен до разности потенциалов  $U_1 = 500$  В. После отключения конденсатора от источника напряжения расстояние между пластинами конденсатора было увеличено в 3 раза. Определить: 1) разность потенциалов на обкладках конденсатора после их раздвижения; 2) работу внешних сил по раздвижению пластин. .
1. 67. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов  $U_1 = 500$  В. Площадь пластин  $S = 200$  см<sup>2</sup>, расстояние между ними  $d_1 = 1,5$  мм. Пластины раздвинули до расстояния  $d_2 = 15$  мм. Найти энергию  $W_1$  и  $W_2$  конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник напряжения перед раздвижением: 1) отключался; 2) не отключался. .
1. 68. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора  $U = 100$  В. Площадь каждой пластины  $S = 200$  см<sup>2</sup>, расстояние между пластинами  $d = 0,5$  мм, пространство между ними заполнено парафином ( $\epsilon = 2$ ). Определить силу притяжения пластин друг к другу. .
1. 69. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено слюдой ( $\epsilon = 7$ ). Площадь пластин конденсатора составляет  $50$  см<sup>2</sup>. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на слюде, если пластины конденсатора притягивают друг друга с силой  $1$  мН. .
1. 70. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ( $\epsilon = 7$ ). Когда конденсатор присоединили к

источнику напряжения, давление пластин на стекло оказалось равным 1 Па. Определить: 1) поверхностную плотность зарядов на пластинах конденсатора; 2) электрическое смещение; 3) напряженность электростатического поля в стекле; 4) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле; 5) объемную плотность энергии электростатического поля в стекле.

## 2. Постоянный электрический ток

2. 1. Сила тока в проводнике равномерно нарастает от  $I_1 = 0$  А до  $I_2 = 2$  А в течение времени  $t = 5$  с. Определить заряд, прошедший в проводнике.
2. 2. Определить плотность тока, если за 2 с через проводник сечением  $1,6$  мм<sup>2</sup> прошло  $2 \cdot 10^9$  электронов.
2. 3. По медному проводнику сечением  $0,8$  мм<sup>2</sup> течет ток 80 мА. Найти среднюю скорость 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>.
2. 4. Определить суммарный импульс электронов в прямом проводе длиной  $L = 500$  м, по которому течет ток  $I = 20$  А.
2. 5. Вольтметр, включенный в сеть последовательно с сопротивлением  $R$ , показал напряжение  $U_1 = 198$  В, а при включении последовательно с сопротивлением  $R_2 = 2R_1$ ,  $U_2 = 180$  В. Определить сопротивление  $R_1$  и напряжение в сети, если сопротивление вольтметра  $R = 900$  Ом.
2. 6. Лампа накаливания потребляет ток, равный 0,6 А. Температура вольфрамовой нити диаметром 0,1 мм равна 2200 °С. Ток подводится медным проводом сечением 6 мм<sup>2</sup>. Определить напряженность электрического поля: 1) в вольфраме (удельное сопротивление при 0° С  $\rho_0 = 55$  нОм·м, температурный коэффициент сопротивления  $\alpha = 0,0045^\circ \text{C}^{-1}$ ); 2) в меди ( $\rho = 17$  нОм·м).
2. 7. По алюминиевому проводу сечением  $S = 0,2$  мм<sup>2</sup> течет ток  $I = 0,2$  А. Определить силу, действующую на отдельные

свободные электроны со стороны электрического поля.  
Удельное сопротивление алюминия  $\rho = 26 \text{ нОм}\cdot\text{м}$ .

2. 8. Электрическая плитка мощностью 1 кВт с нихромовой спиралью предназначена для включения в сеть с напряжением 220 В. Сколько метров проволоки диаметром 0,5 мм надо взять для изготовления спирали, если температура нити составляет  $900^\circ \text{C}$ ? Удельное сопротивление нихрома при  $0^\circ \text{C}$   $\rho_0 = 1 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , а температурный коэффициент сопротивления  $\alpha = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .
2. 9. Два цилиндрических проводника одинаковой длины и одинакового сечения, один из меди, а другой из железа, соединены параллельно. Определить отношение мощностей токов для этих проводников. Удельные сопротивления меди и железа равны соответственно 17 и 98 нОм·м.
2. 10. Сила тока в проводнике сопротивлением  $R = 120 \text{ Ом}$  равномерно возрастает от  $I_0 = 0$  до  $I_{\text{max}} = 5 \text{ А}$  за время  $t = 15 \text{ с}$ . Определить выделившееся за это время в проводнике количество теплоты.
2. 11. Сила тока в проводнике сопротивлением  $R = 10 \text{ Ом}$  равномерно убывает от  $I_0 = 10 \text{ А}$  до  $I = 0$  за время  $\tau = 30 \text{ с}$ . Определить выделившееся за это время в проводнике количество теплоты.
2. 12. Определить напряженность электрического поля в алюминиевом проводнике объемом  $V = 10 \text{ см}^3$ , если при прохождении по нему постоянного тока за время  $t = 5 \text{ мин}$  выделилось количество теплоты  $Q = 2,3 \text{ кДж}$ . Удельное сопротивление алюминия  $\rho = 26 \text{ нОм}\cdot\text{м}$ .
2. 13. Плотность электрического тока в медном проводе равна  $10 \text{ А/см}^2$ . Определить удельную тепловую мощность тока, если удельное сопротивление меди  $\rho = 17 \text{ нОм}\cdot\text{м}$ .
2. 14. Определить ток короткого замыкания источника э. д. с., если при внешнем сопротивлении  $R_1 = 50 \text{ Ом}$  ток в цепи  $I_1 = 0,2 \text{ А}$ , а при  $R_2 = 110 \text{ Ом}$   $I_2 = 0,1 \text{ А}$ .
2. 15. В цепь, состоящую из батареи и резистора сопротивлением  $R = 8 \text{ Ом}$ , включают вольтметр, сопротивление которого  $R_V = 800 \text{ Ом}$ , один раз последовательно резистору, другой раз — параллельно. Определить внутреннее сопротивление батареи, если показания вольтметра в обоих случаях одинаковы.
2. 16. Определить: 1) э. д. с  $E$ ; 2) внутреннее сопротивление  $R$  источника тока, если во внешней цепи при силе тока 4 А

развивается мощность 10 Вт, а при силе тока 2 А мощность 8 Вт.

2. 17. Даны четыре элемента с э. д. с.  $E = 1,5$  В и внутренним сопротивлением  $R = 0,2$  Ом. Как нужно соединить эти элементы, чтобы получить от собранной батареи наибольшую силу тока во внешней цепи, имеющей сопротивление  $R = 0,2$  Ом? Определить максимальную силу тока. .

### 3. Электрические токи в металлах, в вакууме и газах

3. 1. Определить минимальную скорость электрона, необходимую для ионизации атома водорода, если потенциал ионизации атома водорода  $U_1 = 13,6$  В.
3. 2. Работа выхода электрона из металла  $A = 2,5$  эВ. Определить скорость вылетающего из металла электрона, если он обладает энергией  $W = 10^{-18}$  Дж. .
3. 3. Вывести формулу для скорости изменения плотности термоэлектронного тока насыщения с температурой.
3. 4. Ток насыщения при несамостоятельном разряде  $I_{\text{нас}} = 6,4$  пА. Найти число пар ионов, создаваемых в 1 с внешним ионизатором.
3. 5. Потенциал ионизации атома водорода  $U_1 = 13,6$  В. Определить температуру, при которой атомы ртути имеют среднюю кинетическую энергию поступательного движения, достаточную для ионизации. .
3. 6. Определить температуру, соответствующую средней кинетической энергии поступательного движения электронов, равной работе выхода из вольфрама, если поверхностный скачок потенциала для вольфрама 4,5 В. .

### 4. Магнитное поле

4. 1. В однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл помещена квадратная рамка площадью  $S = 25$  см<sup>2</sup>. Нормаль к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол  $60^\circ$ . Определить вращающий момент, действующий на рамку, если по ней течет ток  $I = 1$  А.
4. 2. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,5$  Тл находится прямоугольная рамка длиной  $d = 8$  см и шириной  $B = 5$  см, содержащая  $N = 100$  витков тонкой проволоки. Ток в

рамке  $I = 1$  А, а плоскость рамки параллельна линиям магнитной индукции. Определить: 1) магнитный момент рамки; 2) вращающий момент, действующий на рамку.

4. 3. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 1$  Тл находится квадратная рамка со стороной  $d = 10$  см, по которой течет ток  $I = 4$  А. Плоскость рамки перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить работу  $A$ , которую необходимо затратить для поворота рамки относительно оси, проходящей через середину ее противоположных сторон: 1) на  $90^\circ$ ; 2) на  $180^\circ$ ; 3) на  $360^\circ$ .
4. 4. Тонкое кольцо массой  $10$  г и радиусом  $R = 8$  см несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью  $\tau = 10$  нКл/м. Кольцо равномерно вращается с частотой  $n = 15$  с<sup>-1</sup> относительно оси, перпендикулярной плоскости кольца и проходящей через ее центр. Определить: 1) магнитный момент  $p_m$  кругового тока, создаваемого кольцом; 2) отношение магнитного момента к моменту импульса кольца.
4. 5. Принимая, что электрон в атоме водорода движется по круговой орбите, определить отношение магнитного момента  $p_m$  эквивалентного кругового тока к моменту импульса  $L$  орбитального движения электрона.
4. 6. Определить магнитную индукцию  $B$  поля, создаваемого отрезком бесконечно длинного провода, в точке, равноудаленной от концов отрезка и находящейся на расстоянии  $R = 4$  см от его середины. Длина отрезка провода  $l = 20$  см, а сила тока в проводе  $I = 10$  А.
4. 7. Определить индукцию магнитного поля в центре проволочной квадратной рамки со стороной  $d = 15$  см, если по рамке течет ток  $I = 5$  А.
4. 8. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам, находящимся на расстоянии  $AB = 10$  см друг от друга в вакууме, текут токи  $I_1 = 20$  А и  $I_2 = 30$  А одинакового направления. Определить магнитную индукцию  $B$  поля, создаваемого токами в точках, лежащих на прямой, соединяющей оба провода, если: 1) точка  $C$  лежит на расстоянии  $R_1 = 4$  см левее левого провода; 2) точка  $D$  лежит на расстоянии  $r_2 = 3$  см правее правого провода; 3) точка  $G$  лежит на расстоянии  $R_1 = 4$  см правее левого провода.

4. 9. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми  $d = 20$  см, текут токи  $I_1 = 40$  А и  $I_2 = 80$  А в одном направлении. Определить магнитную индукцию  $B$  в точке А, удаленной от первого проводника на  $R_1 = 12$  см и от второго на  $R_2 = 16$  см.
4. 10. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми  $d = 15$  см, текут токи  $I_1 = 70$  А и  $I_2 = 50$  А в противоположных направлениях. Определить магнитную индукцию  $B$ , в точке А, удаленной на  $R_1 = 20$  см от первого и  $R_2 = 30$  см от второго проводника.
4. 11. Напряженность  $H$  магнитного поля в центре кругового витка с магнитным моментом  $p_m = 1,5$  А·м<sup>2</sup> равна 150 А/м. Определить: 1) радиус витка; 2) силу тока в витке. Ответ: 1) 11,7 см; 2) 35,1 А.
4. 12. Определить магнитную индукцию в центре кругового проволочного витка радиусом  $R = 10$  см, по которому течет ток  $I = 1$  А. .
4. 13. Определить магнитную индукцию на оси тонкого проволочного кольца радиусом  $R = 5$  см, по которому течет ток  $I = 10$  А, в точке А, расположенной на расстоянии  $d = 10$  см от центра кольца. .
4. 14. Определить магнитную индукцию  $B_A$  на оси тонкого проволочного кольца радиусом  $R = 10$  см, в точке, расположенной на расстоянии  $d = 20$  см от центра кольца, если в центре кольца  $B = 50$  мкТл. .
4. 15. Круговой виток радиусом  $R = 15$  см расположен относительно бесконечно длинного провода так, что его плоскость параллельна проводу. Перпендикуляр, восставленный на провод из центра витка, является нормалью к плоскости витка. Сила тока в проводе  $I_1 = 1$  А, сила тока в витке  $I_2 = 5$  А. Расстояние от центра витка до провода  $d = 20$  см. Определить магнитную индукцию в центре витка.
4. 16. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл находится прямой проводник длиной  $l = 15$  см, по которому течет ток  $I = 5$  А. На проводник действует сила  $F = 0,13$  Н. Определить угол  $\alpha$  между направлениями тока и вектором магнитной индукции.
4. 17. По прямому горизонтально расположенному проводу пропускают ток  $I_1 = 10$  А. Под ним на расстоянии  $R = 1,5$  см

находится параллельный ему алюминиевый провод, по которому пропускают ток  $I_2 = 1,5$  А. Определить, какова должна быть площадь поперечного сечения алюминиевого провода, чтобы он удерживался незакрепленным. Плотность алюминия  $\rho = 2,7$  г/см<sup>3</sup>.

4. 18. Два бесконечных прямолинейных параллельных проводника с одинаковыми токами, текущими в одном направлении, находятся друг от друга на расстоянии  $R$ . Чтобы их раздвинуть до расстояния  $2R$ , на каждый сантиметр длины проводника затрачивается работа  $A = 138$  нДж. Определить силу тока в проводниках.
4. 19. Прямоугольная рамка со сторонами  $d = 40$  см и  $b = 30$  см расположена в одной плоскости с бесконечным прямолинейным проводом с током  $I = 6$  А так, что длинные стороны рамки параллельны проводу. Сила тока в рамке  $I_1 = 1$  А. Определить силы, действующие на каждую из сторон рамки, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии  $c = 10$  см, а ток в ней сонаправлен току  $I$ .
4. 20. По тонкому проволочному полукольцу радиусом  $R = 50$  см течет ток  $I = 1$  А. Перпендикулярно плоскости полукольца возбуждено однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,01$  Тл. Найти силу, растягивающую полукольцо. Действие на полукольцо магнитного поля подводющих проводов и взаимодействие отдельных элементов полукольца не учитывать.
4. 21. Применяя закон Ампера для силы взаимодействия двух параллельных токов, вывести числовое значение магнитной постоянной  $\mu_0$ .
4. 22. Электрон движется прямолинейно с постоянной скоростью  $v = 0,2$  мм/с. Определить магнитную индукцию  $B$  поля, создаваемого электроном в точке, находящейся на расстоянии  $R = 2$  нм от электрона и лежащей на прямой, проходящей через мгновенное положение электрона и составляющей угол  $\alpha = 45^\circ$  со скоростью движения электрона.
4. 23. Определить напряженность  $H$  поля, создаваемого прямолинейно равномерно движущимся со скоростью  $v = 5000$  км/с электроном в точке, находящейся от него на расстоянии  $R = 10$  нм и лежащей на перпендикуляре к  $v$ , проходящем через мгновенное положение электрона.

4. 24. Согласно теории Бора, электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите радиусом  $R = 52,8$  Ом. Определить магнитную индукцию  $B$  поля, создаваемого электроном в центре круговой орбиты. .
4. 25. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл по окружности. Определить угловую скорость вращения электрона. .
4. 26. Электрон, обладая скоростью  $v = 10$  Мм/с, влетел в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Индукция магнитного поля  $B = 0,1$  мТл. Определить нормальное и тангенциальное ускорения электрона.
4. 27. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции движется прямой проводник длиной 40 см. Определить силу Лоренца, действующую на свободный электрон проводника, если возникающая на его концах разность потенциалов составляет 10 мкВ.
4. 28. Электрон, ускоренный разностью потенциалов  $U = 0,5$  кВ, движется параллельно прямолинейному длинному проводнику на расстоянии  $R = 1$  см от него. Определить силу, действующую на электрон, если через проводник пропускать ток  $I = 10$  А.
4. 29. Протон, ускоренный разностью потенциалов  $U = 0,5$  кВ, влетая в однородное магнитное поле с магнитной индукцией  $B = 2$  мТл, движется по окружности. Определить радиус этой окружности. .
4. 30. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с магнитной индукцией  $B = 2$  мТл, движется по круговой орбите радиусом  $R = 15$  см. Определить магнитный момент  $p_m$  эквивалентного кругового тока. .
4. 31. Электрон, обладая скоростью  $v = 1$  мм/с, влетает в однородное магнитное поле под углом  $\alpha = 60^\circ$  к направлению поля и начинает двигаться по спирали. Напряженность магнитного поля  $H = 1,5$  кА/м. Определить: 1) шаг спирали; 2) радиус витка спирали. .
4. 32. Электрон движется в однородном магнитном поле с магнитной индукцией  $B = 0,2$  мТл по винтовой линии. Определить скорость  $v$  электрона, если радиус винтовой линии  $R = 3$  см, а шаг  $h = 9$  см.
4. 33. Определить, при какой скорости пучок заряженных частиц, двигаясь перпендикулярно скрещенным под прямым углом

однородным электрическому ( $E = 100$  кВ/м) и магнитному ( $B = 50$  мТл) полям, не отклоняется.

4. 34. В однородное магнитное поле с магнитной индукцией  $0,2$  Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции с постоянной скоростью влетает заряженная частица. В течение  $5$  мкс включается электрическое поле напряженностью  $0,5$  кВ/м в направлении, параллельном магнитному полю. Определить шаг винтовой траектории заряженной частицы.
4. 35. Ионы двух изотопов с массами  $m_1 = 6,5 \cdot 10^{-26}$  кг и  $m_2 = 6,8 \cdot 10^{-26}$  кг, ускоренные разностью потенциалов  $U = 0,5$  кВ, влетают в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,5$  Тл перпендикулярно линиям индукции. Принимая заряд каждого иона равным элементарному электрическому заряду, определить, насколько будут отличаться радиусы траекторий ионов изотопов в магнитном поле. .
4. 36. Циклотроны позволяют ускорять протоны до энергий  $20$  МэВ. Определить радиус дуанта циклотрона, если магнитная индукция  $B = 2$  Тл. .
4. 37. Определить удельный заряд частиц, ускоренных в циклотроне в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 1,7$  Тл при частоте ускоряющего напряжения  $\nu = 25,9$  МГц. .
4. 38. Протоны ускоряются в циклотроне в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 1,2$  Тл. Максимальный радиус кривизны траектории протонов составляет  $R = 40$  см. Определить: 1) кинетическую энергию протонов в конце ускорения; 2) минимальную частоту ускоряющего напряжения, при которой протоны ускоряются до энергий  $T = 20$  МэВ. .
4. 39. В случае эффекта Холла для натриевого проводника при плотности тока  $j = 150$  А/см<sup>2</sup> и магнитной индукции  $B = 2$  Тл напряженность поперечного электрического поля  $E_v = 0,75$  мВ/м. Определить концентрацию электронов проводимости, а также ее отношение к концентрации атомов в этом проводнике. Плотность натрия  $\rho = 0,97$  г/см<sup>3</sup>.
4. 40. Определить постоянную Холла для натрия, если для него отношение концентрации электронов проводимости к концентрации атомов составляет  $0,984$ . Плотность натрия  $\rho = 0,97$  г/см<sup>3</sup>.

4. 41. Определить, во сколько раз постоянная Холла у меди больше, чем у алюминия, если известно, что в алюминии на один атом в среднем приходится два свободных электрона, а в меди 0,8 свободных электронов. Плотности меди и алюминия соответственно равны 8,93 и 2,7 г/см<sup>3</sup>.
4. 42. Через сечение медной пластинки толщиной  $d = 0,2$  мм пропускается ток  $I = 6$  А. Пластинка помещается в однородное магнитное поле с индукцией  $B = 1$  Тл, перпендикулярное ребру пластинки и направлению тока. Считая концентрацию электронов проводимости равной концентрации атомов, определить возникающую в пластинке поперечную (холловскую) разность потенциалов. Плотность меди  $\rho = 8,93$  г/см<sup>3</sup>.
4. 43. Определить циркуляцию вектора магнитной индукции по окружности, через центр которой перпендикулярно ее плоскости проходит бесконечно длинный прямолинейный провод, по которому течет ток  $I = 5$  А. .
4. 44. Определить циркуляцию вектора индукции вдоль контура, охватывающего токи  $I_1 = 10$  А,  $I_2 = 15$  А, текущие в одном направлении, и  $I_3 = 20$  А, текущее в противоположенном направлении. .
4. 45. Используя теорему о циркуляции вектора  $B$ , рассчитать магнитную индукцию поля внутри соленоида (в вакууме), если число витков соленоида равно  $N$  и длина соленоида равна  $l$ .
4. 46. Соленоид длиной  $l = 0,5$  м содержит  $N = 1000$  витков. Определить магнитную индукцию  $B$  поля внутри соленоида, если сопротивление его обмотки  $R = 120$  Ом, а напряжение на ее концах  $U = 60$  В. .
4. 47. В соленоиде длиной  $l = 0,4$  м и диаметром  $D = 5$  см создается магнитное поле, напряженность которого  $H = 1,5$  кА/м. Определить: разность потенциалов  $U$  на концах обмотки, если для нее используется алюминиевая проволока ( $\rho = 26$  нОм·м) диаметром  $d = 1$  мм.
4. 48. Определить, пользуясь теоремой о циркуляции вектора  $B$ , индукцию и напряженность магнитного поля на оси тороида без сердечника, по обмотке которого, содержащей 200 витков, протекает ток в 2 А. Внешний диаметр тороида равен 60 см, внутренний — 40см. .

4. 49. Определить магнитный поток через площадь поперечного сечения катушки (без сердечника), имеющей на каждом сантиметре длины  $n = 8$  витков. Радиус соленоида  $R = 2$  см, а сила тока в нем  $I = 2$  А.
4. 50. Внутри соленоида с числом витков  $N = 200$  с никелевым сердечником ( $\mu = 200$ ) напряженность однородного магнитного поля  $H = 10$  кА/м. Площадь поперечного сечения сердечника  $S = 10$  см<sup>2</sup>. Определить: 1) магнитную индукцию поля внутри соленоида; 2) потокосцепление.
4. 51. В однородное магнитное поле напряженностью  $H = 100$  кА/м помещена квадратная рамка со стороной  $d = 10$  см. Плоскость рамки составляет с направлением магнитного поля угол  $\alpha = 60^\circ$ . Определить магнитный поток, пронизывающий рамку.
4. 52. Поток магнитной индукции через площадь поперечного сечения соленоида (без сердечника) равен  $\Phi = 1$  мкВб. Длина соленоида  $l = 12,5$  см. Определить магнитный момент  $p_m$  этого соленоида.
4. 53. В одной плоскости с бесконечным прямолинейным проводом с током  $I = 20$  А расположена квадратная рамка со стороной, длина которой  $b = 10$  см, причем две стороны рамки параллельны проводу, а расстояние  $d$  от провода до ближайшей стороны рамки равно 5 см. Определить магнитный поток  $\Phi$ , пронизывающий рамку.
4. 54. Прямой провод длиной  $l = 20$  см с током  $I = 5$  А, находящийся в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,1$  Тл, расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить работу сил поля, под действием которых проводник переместился на 2 см.
4. 55. Квадратный проводящий контур со стороной  $l = 20$  см и током  $I = 10$  А свободно подвешен в однородном магнитном поле с магнитной индукцией  $B = 0,2$  Тл. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть контур на  $180^\circ$  вокруг оси, перпендикулярной направлению магнитного поля.
4. 56. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией  $B = 0,2$  Тл находится квадратный проводящий контур со стороной  $d = 20$  см и током  $I = 10$  А. Плоскость квадрата составляет с направлением поля угол в  $30^\circ$ . Определить работу удаления провода за пределы поля.

4. 57. Круговой проводящий контур радиусом  $l = 5$  см и током  $I = 1$  А находится в магнитном поле, причем плоскость контура перпендикулярна направлению поля. Напряженность поля равна  $10$  кА/м. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть контур на  $90^\circ$  вокруг оси, совпадающей с диаметром контура.
4. 58. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией  $B = 1$  Тл находится плоская катушка из  $100$  витков радиусом  $R = 10$  см, плоскость которой с направлением поля составляет угол  $\beta = 60^\circ$ . По катушке течет ток  $I = 10$  А. Определить: 1) вращающий момент, действующий на катушку; 2) работу для удаления этой катушки из магнитного поля.
4. 59. Круглая рамка с током ( $S = 15$  см<sup>2</sup>) закреплена параллельно магнитному полю ( $B = 0,1$  Тл), и на нее действует вращающий момент  $M = 0,45$  мН·м. Рамку освободили, после поворота на  $90^\circ$  ее угловая скорость стала  $\omega = 30$  с<sup>-1</sup>. Определить: 1) силу тока, текущего по рамке; 2) момент инерции рамки относительно ее диаметра.

### 5. Электромагнитная индукция

5. 1. Соленоид диаметром  $d = 4$  см, имеющий  $N = 500$  витков, помещен в магнитное поле, индукция которого изменяется со скоростью  $1$  мТл/с. Ось соленоида составляет с вектором магнитной индукции угол  $\alpha = 45^\circ$ . Определить э. д. с. индукции, возникающей в соленоиде. .
5. 2. В магнитное поле, изменяющееся по закону  $B = B_0 \cdot \cos \omega t$  ( $B_0 = 0,1$  Тл,  $\omega = 4$  с<sup>-1</sup>), помещена квадратная рамка со стороной  $d = 50$  см, причем нормаль к рамке образует с направлением поля угол  $\alpha = 45^\circ$ . Определить э. д. с. индукции, возникающую в рамке в момент времени  $t = 5$  с. .
5. 3. Кольцо из алюминиевого провода ( $\rho = 26$  нОм·м) помещено в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца  $D = 30$  см, диаметр провода  $d = 2$  мм. Определить скорость изменения магнитного поля, если ток в кольце  $I = 1$  А. .
5. 4. Плоскость проволочного витка площадью  $S = 100$  см<sup>2</sup> и сопротивлением  $R = 5$  Ом, находящегося в однородном магнитном поле напряженностью  $H = 10$  кА/м, перпендикулярна

линиям магнитной индукции. При повороте витка в магнитном поле отсчет гальванометра, замкнутого на виток, составляет  $Q = 12,6$  мКл. Определить угол поворота витка.

5. 5. В однородное магнитное поле с индукцией  $B = 0,3$  Тл помещена прямоугольная рамка с подвижной стороной, длина которой  $l = 15$  см. Определить э. д. с. индукции, возникающей в рамке, если ее подвижная сторона перемещается перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью  $v = 10$  м/с.
5. 6. В катушке длиной  $l = 0,5$  м, диаметром  $d = 5$  см и числом витков  $N = 1500$  ток равномерно увеличивается на  $0,2$  А за одну секунду. На катушку надето кольцо из медной проволоки ( $\rho = 17$  нОм·м) площадью сечения  $S_K = 3$  мм<sup>2</sup>. Определить силу тока в кольце.
5. 7. Катушка диаметром  $d = 2$  см, содержащая один слой плотно прилегающих друг к другу  $N = 500$  витков алюминиевого провода сечением  $S = 1$  мм<sup>2</sup>, помещена в магнитное поле. Ось катушки параллельна линиям индукции. Магнитная индукция поля равномерно изменяется со скоростью  $1$  мТл/с. Определить тепловую мощность, выделяющуюся в катушке, если ее концы замкнуть накоротко. Удельное сопротивление алюминия  $\rho = 26$  нОм·м. .
5. 8. В однородном магнитном поле ( $B = 0,1$  Тл) вращается с постоянной угловой скоростью ( $\omega = 50$  с<sup>-1</sup>) вокруг вертикальной оси стержень длиной  $l = 0,4$  м. Определить э. д. с. индукции, возникающей в стержне, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции. .
5. 9. В однородном магнитном поле с индукцией  $B = 0,02$  Тл равномерно вращается вокруг вертикальной оси горизонтальный стержень длиной  $l = 0,5$  м. Ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции. Определить число оборотов в секунду, при котором на концах стержня возникает разность потенциалов  $U = 0,1$  В. .
5. 10. В однородном магнитном поле ( $B = 0,2$  Тл) равномерно с частотой  $n = 600$  мин<sup>-1</sup> вращается рамка, содержащая  $N = 1200$  витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки  $S = 100$  см<sup>2</sup>. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную э. д. с., индуцируемую в рамке. .

5. 11. Магнитная индукция  $B$  поля между полюсами двухполюсного генератора равна 1 Тл. Ротор имеет 140 витков (площадь каждого витка  $S = 500 \text{ см}^2$ ). Определить частоту вращения якоря, если максимальное значение э.д.с. индукции равно 220 В. .
5. 12. В однородном магнитном поле ( $B = 0,2 \text{ Тл}$ ) равномерно вращается прямоугольная рамка, содержащая  $N = 200$  витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки  $S = 100 \text{ см}^2$ . Определить частоту вращения рамки, если максимальная э.д.с., индуцируемая в ней,  $(E_i)_{\max} = 12,6 \text{ В}$ .
5. 13. В однородном магнитном поле равномерно вращается прямоугольная рамка с частотой  $n = 600 \text{ мин}^{-1}$ . Амплитуда индуцируемой в рамке э. д. с.  $E_0 = 38 \text{ В}$ . Определить максимальный магнитный поток через рамку.
5. 14. Катушка длиной  $l = 50 \text{ см}$  и диаметром  $d = 5 \text{ см}$  содержит  $N = 200$  витков. По катушке течет ток  $I = 1 \text{ А}$ . Определить: 1) индуктивность катушки; 2) магнитный поток, пронизывающий площадь ее поперечного сечения.
5. 15. Длинный соленоид индуктивностью  $L = 4 \text{ мГн}$  содержит  $N = 600$  витков. Площадь поперечного сечения соленоида  $S = 20 \text{ см}^2$ . Определить магнитную индукцию поля внутри соленоида, если сила тока, протекающего по его обмотке, равна 6 А.
5. 16. Две длинные катушки намотаны на общий сердечник, причем индуктивности этих катушек  $L_1 = 0,64 \text{ Гн}$  и  $L_2 = 0,04 \text{ Гн}$ . Определить, во сколько раз число витков первой катушки больше, чем второй. .
5. 17. Определить, сколько витков проволоки, вплотную прилегающих друг к другу, диаметром  $d = 0,5 \text{ мм}$  с изоляцией ничтожной толщины надо намотать на картонный цилиндр диаметром  $D = 1,5 \text{ см}$ , чтобы получить однослойную катушку индуктивностью  $L = 100 \text{ мкГн}$ ? .
5. 18. Индуктивность соленоида, намотанного в один слой на немагнитный каркас,  $L = 1,6 \text{ мГн}$ . Длина соленоида  $l = 1 \text{ м}$ , сечение  $S = 20 \text{ см}^2$ . Сколько витков приходится на каждый сантиметр длины соленоида? .
5. 19. Сверхпроводящий соленоид длиной  $l = 10 \text{ см}$  и площадью поперечного сечения  $S = 3 \text{ см}^2$ , содержащий  $N = 1000$  витков,

может быть подключен к источнику э. д. с.  $E = 12$  В. Определить силу тока через  $0,01$  с после замыкания ключа. .

5. 20. Через катушку, индуктивность  $L$  которой равна  $200$  мГн, протекает ток, изменяющийся по закону  $I = 2\cos 3t$ . Определить: 1) закон изменения э. д. с. самоиндукции; 2) максимальное значение э. д. с. самоиндукции.
5. 21. В соленоиде без сердечника, содержащем  $N=1000$  витков, при увеличении силы тока магнитный поток увеличился на  $1$  мВб. Определить среднюю э. д. с. самоиндукции  $\langle E_s \rangle$ , возникающую в соленоиде, если изменение силы тока произошло за  $0,1$  с.
5. 22. Имеется катушка индуктивностью  $L = 0,1$  Гн и сопротивлением  $R = 0,8$  Ом. Определить, во сколько раз уменьшится сила тока в катушке через  $t = 30$  мс, если источник тока отключить и катушку замкнуть накоротко. .
5. 23. Определить, через какое время сила тока замыкания достигнет  $0,95$  предельного значения, если источник тока замыкают на катушку сопротивлением  $R = 12$  Ом и индуктивностью  $0,5$  Гн. .
5. 24. Катушку индуктивностью  $L = 0,6$  Гн подключают к источнику тока. Определить сопротивление катушки, если за время  $t = 3$  с сила тока через катушку достигает  $80\%$  предельного значения. .
5. 25. Бесконечно длинный соленоид длиной  $l = 0,8$  м имеет однослойную обмотку из алюминиевого провода массой  $m = 400$  г. Определить время релаксации  $\tau$  для этого соленоида. Плотность и удельное сопротивление алюминия равны соответственно  $\rho = 2,7$  г/см<sup>3</sup> и  $\rho' = 26$  нОм·м. .
5. 26. Соленоид диаметром  $d = 3$  см имеет однослойную обмотку из плотно прилегающих друг к другу витков алюминиевого провода ( $\rho' = 26$  нОм·м) диаметром  $d_1 = 0,3$  мм. По соленоиду течет ток  $I_0 = 0,5$  А. Определить количество электричества  $Q$ , протекающее по соленоиду, если его концы замкнуть.
5. 27. Две катушки намотаны на один общий сердечник. Определить их взаимную индуктивность, если при скорости изменения силы тока в первой катушке  $dI_1/dt = 3$  А/с во второй катушке индуцируется э. д. с.  $E_2 = 0,3$  В.
5. 28. Два соленоида  $L_1 = 0,64$  Гн,  $L_2 = 1$  Гн одинаковой длины и равного сечения вставлены один в другой. Определить взаимную индуктивность соленоидов. .

5. 29. Трансформатор с коэффициентом трансформации 0,15 понижает напряжение с 220 до 6 В. При этом сила тока во вторичной обмотке равна 6 А. Пренебрегая потерями энергии в первичной обмотке, определить сопротивление вторичной обмотки трансформатора .
5. 30. Автотрансформатор, понижающий напряжение с  $U_1 = 6$  кВ до  $U_2 = 220$  В, содержит в первичной обмотке  $N_1 = 2000$  витков. Сопротивление вторичной обмотки  $R_2 = 1$  Ом. Сопротивление внешней цепи (в сети пониженного напряжения)  $R = 12$  Ом. Пренебрегая сопротивлением первичной обмотки, определить число витков во вторичной обмотке трансформатора.
5. 31. Трансформатор, понижающий напряжение с 220 до 12 В, содержит в первичной обмотке  $N_1 = 2000$  витков. Сопротивление вторичной обмотки  $R_2 = 0,15$  Ом. Пренебрегая сопротивлением первичной обмотки, определить число витков во вторичной обмотке, если во внешнюю цепь (в сети пониженного напряжения) передают мощность  $P = 20$  Вт.
5. 32. Сила тока  $I$  в обмотке соленоида, содержащего  $W = 1500$  витков, равна 5 А. Магнитный поток  $\Phi$  через поперечное сечение соленоида составляет 200 мкВб. Определить энергию магнитного поля в соленоиде. .
5. 33. Обмотка электромагнита, находясь под постоянным напряжением, имеет сопротивление  $R = 15$  Ом и индуктивность  $L = 0,3$  Гн. Определить время, за которое в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике.
5. 34. Соленоид без сердечника с однослойной обмоткой из проволоки диаметром  $d = 0,5$  мм имеет длину  $l = 0,4$  м и поперечное сечение  $S = 50$  см<sup>2</sup>. Какой ток течет по обмотке при напряжении  $U = 10$  В, если за время  $t = 0,5$  мс в обмотке выделяется количество теплоты, равное энергии поля внутри соленоида? Поле считать однородным.
5. 35. Индуктивность соленоида при длине 1 м и площади поперечного сечения 20 см<sup>2</sup> равна 0,4 мГн. Определить силу тока в соленоиде, при которой объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида равна 0,1 Дж/м<sup>3</sup>.
5. 36. Две катушки расположены на небольшом расстоянии одна от другой. Когда сила тока в первой катушке изменяется с

быстротой  $\Delta I/\Delta t = 5 \text{ A/c}$ , во второй катушке возникает э.д.с. индукции  $0,1 \text{ В}$ . Определить коэффициент  $M$  взаимной индукции катушек. .

5. 37.Тороид с воздушным сердечником содержит 20 витков на  $1 \text{ см}$ . Определить объемную плотность энергии в тороиде, если по его обмотке протекает ток  $3 \text{ А}$ . .

## 6. Магнитные свойства вещества

- 6.1. Доказать, что отношение числового значения орбитального магнитного момента  $p_m$  электрона к числовому значению его орбитального механического момента  $L_e$  (гиромагнитное отношение орбитальных моментов) одинаково для любой орбиты, по которой движется электрон.
- 6.2. Принимая, что электрон в невозбужденном атоме водорода движется по круговой орбите радиусом  $R = 52,8 \text{ пм}$ , определить: 1) магнитный момент  $p_m$  эквивалентного кругового тока; 2) орбитальный механический момент  $L$ , электрона; 3) исходя из полученных числовых значений, гиромагнитное отношение орбитальных моментов, доказав, что оно совпадает со значением, определяемым универсальными постоянными.
- 6.3. В пространство между полюсами электромагнита подвешиваются поочередно висмутовый и алюминиевый стержни. Оказалось, что при включении электромагнита алюминиевый стержень располагается вдоль магнитного поля, а висмутовый — поперек магнитного поля. Объяснить различие в их поведении.
- 6.4. В однородное магнитное поле вносится длинный вольфрамовый стержень (магнитная проницаемость  $\mu = 1,0176$ ). Определить, какая доля суммарного магнитного поля в этом стержне определяется молекулярными токами.
- 6.5. Напряженность однородного магнитного поля в платине равна  $5 \text{ А/м}$ . Определить магнитную индукцию поля, создаваемого молекулярными токами, если магнитная восприимчивость платины равна  $3,6 \cdot 10^{-4}$ . .
- 6.6. По круговому контуру радиусом  $R = 40 \text{ см}$ , погруженному в жидкий кислород, течет ток  $I = 1 \text{ А}$ . Определить

намагниченность в центре этого контура. Магнитная восприимчивость жидкого кислорода  $\chi = 3,4 \cdot 10^{-3}$ .

- 6.7. По обмотке соленоида индуктивностью  $L = 3$  мГн, находящегося в диамагнитной среде, течет ток  $I = 0,4$  А. Соленоид имеет длину  $l = 45$  см, площадь поперечного сечения  $S = 10$  см<sup>2</sup> и число витков  $N = 1000$ . Определить внутри соленоида: 1) магнитную индукцию; 2) намагниченность. .
- 6.8. Соленоид, находящийся в диамагнитной среде, имеет длину  $l = 30$  см, площадь поперечного сечения  $S = 15$  см<sup>2</sup> и число витков  $N = 500$ . Индуктивность соленоида  $L = 1,5$  Гн, а сила тока, протекающего по нему,  $I = 1$  А. Определить: 1) магнитную индукцию внутри соленоида; 2) намагниченность внутри соленоида.

### **7. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля**

- 7.1. Длинный цилиндрический конденсатор заряжается от источника э.д.с. Пренебрегая краевыми эффектами, доказать, что ток смещения в диэлектрике, заполняющем пространство между обкладками конденсатора, равен току в цепи источника э.д.с.
- 7.2. Запишите полную систему уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах и объясните физический смысл каждого из уравнений. Зачем вообще необходима дифференциальная форма уравнений?
- 7.3. Запишите полную систему уравнений Максвелла для стационарных полей ( $E = \text{const}$  и  $B = \text{const}$ ) в интегральной и дифференциальной формах и объясните физический смысл каждого из уравнений.
- 7.4. Запишите уравнения Максвелла через поток вектора электрического смещения  $\Phi_D$ , поток вектора магнитной индукции  $\Phi_B$ , заряд  $Q$  и силу тока  $I$ .
- 7.5. Доказать с помощью одного из уравнений Максвелла, что переменное во времени магнитное поле не может существовать без электрического поля.
- 7.6. Определить силу тока смещения между квадратными пластинами конденсатора со стороной 5 см, если напряженность электрического поля изменяется со скоростью 4,52 МВ/(м·с). .

### **8. Электромагнитные колебания**

- 8.1. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 1$  мГн и конденсатора емкостью  $C = 2$  нФ. Пренебрегая сопротивлением контура, определить, на какую волну этот контур настроен. .
- 8.2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 0,2$  мГн и конденсатора с площадью пластин  $S = 155$  см<sup>2</sup>, расстояние между которыми  $d = 1,5$  мм. Зная, что контур резонирует на длину волны  $\lambda = 630$  м, определить диэлектрическую проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами конденсатора.
- 8.3. Колебательный контур содержит соленоид (длина  $l = 5$  см, площадь поперечного сечения  $S_1 = 1,5$  см<sup>2</sup>, число витков  $N = 500$ ) и плоский конденсатор (расстояние между пластинами  $d = 1,5$  мм, площадь пластин  $S_2 = 100$  см<sup>2</sup>). Определить частоту  $\omega$  собственных колебаний контура. .
- 8.4. Энергия свободных незатухающих колебаний, происходящих в колебательном контуре, составляет 0,2 мДж. При медленном раздвигании пластин конденсатора частота колебаний увеличилась в  $n = 2$  раза. Определить работу, совершенную против сил электрического поля. .
- 8.5. Конденсатор емкостью  $C$  зарядили до напряжения  $U_m$  и замкнули на катушку индуктивностью  $L$ . Пренебрегая сопротивлением контура, определить амплитудное значение силы тока в данном колебательном контуре. .
- 8.6. Колебательный контур содержит катушку с общим числом витков  $N = 100$  индуктивностью  $L = 10$  мкГн и конденсатор емкостью  $C = 1$  нФ. Максимальное напряжение  $U_m$  на обкладках конденсатора составляет 100 В. Определить максимальный магнитный поток, пронизывающий катушку.
- 8.7. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью  $L = 10$  мГн, конденсатора емкостью  $C = 0,1$  мкФ и резистора сопротивлением  $R = 20$  Ом. Определить, через сколько полных колебаний амплитуда тока в контуре уменьшится в  $e$  раз.
- 8.8. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью  $L = 25$  мГн, конденсатор емкостью  $C = 10$  мкФ и резистор сопротивлением  $R = 1$  Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества  $Q_m = 1$  мКл. Определить: 1) период колебаний контура; 2) логарифмический декремент затухания колебаний; 3)

уравнение зависимости изменения напряжения на обкладках конденсатора от времени.

- 8.9. Определить логарифмический декремент, при котором энергия колебательного контура за  $N = 5$  полных колебаний уменьшается в  $n = 8$  раз. .
- 8.10. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью  $L = 6$  мкГн, конденсатор емкостью  $C = 10$  нф и резистор сопротивлением  $R = 10$  Ом. Определить для случая максимума тока отношение энергии магнитного поля катушки к энергии электрического поля.
- 8.11. Определить добротность  $Q$  колебательного контура, состоящего из катушки индуктивностью  $L = 2$  мГн, конденсатора емкостью  $C = 0,2$  мкФ и резистора сопротивлением  $R = 1$  Ом. .
- 8.12. Частота затухающих колебаний  $n$  в колебательном контуре с добротностью  $Q = 2500$  равна 550 кГц. Определить время, за которое амплитуда тока в этом контуре уменьшится в 4 раза. .
- 8.13. Определить минимальное активное сопротивление при разрядке лейденской банки, при котором разряд будет апериодическим. Емкость  $C$  лейденской банки равна 1,2 нФ, а индуктивность проводов составляет 3 мкГн. .
- 8.14. В цепь колебательного контура, содержащего последовательно соединенные резистор сопротивлением  $R = 40$  Ом, катушку индуктивностью  $L = 0,36$  Гн и конденсатор емкостью  $C = 28$  мкФ, подключено внешнее переменное напряжение с амплитудным значением  $U_m = 180$  В и частотой  $\omega = 314$  рад/с. Определить: 1) амплитудное значение силы тока  $I_m$  в цепи; 2) сдвиг  $\varphi$  по фазе между током и внешним напряжением.
- 8.15. В цепь колебательного контура, содержащего катушку индуктивностью  $L = 0,2$  Гн и активным сопротивлением  $R = 9,7$  Ом, а также конденсатор емкостью  $C = 40$  мкФ, подключено внешнее переменное напряжение с амплитудным значением  $U_m = 180$  В и частотой  $\omega = 314$  рад/с. Определить: 1) амплитудное значение силы тока  $I_m$  в цепи; 2) разность фаз  $\varphi$  между током и внешним напряжением; 3) амплитудное значение напряжения  $U_{mL}$  на катушке; 4) амплитудное значение напряжения  $U_{mC}$  на конденсаторе. .
- 8.16. Последовательно соединенные резистор с сопротивлением  $R = 110$  Ом и конденсатор подключены к внешнему переменному

напряжению с амплитудным значением  $U_m = 110$  В. Оказалось, что амплитудное значение установившегося тока в цепи  $I_m = 0,5$  А. Определить разность фаз между током и внешним напряжением. .

- 8.17. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью  $L = 0,1$  мГн, резистор сопротивлением  $R = 3$  Ом, а также конденсатор емкостью  $C = 10$  нФ. Определить среднюю мощность, потребляемую контуром, необходимую для поддержания в нем незатухающих колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе  $U_m = 2$  В.
- 8.18. В цепь переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц последовательно включены резистор сопротивлением  $R = 100$  Ом, катушка индуктивностью  $L = 0,5$  Гн и конденсатор емкостью  $C = 10$  мкФ. Определить: 1) силу тока в цепи; 2) падение напряжения на активном сопротивлении; 3) падение напряжения на конденсаторе; 4) падение напряжения на катушке. .
- 8.19. В цепь переменного тока частотой  $n = 50$  Гц включена катушка длиной  $l = 20$  см и диаметром  $d = 5$  см, содержащая  $N = 500$  витков медного провода площадью поперечного сечения  $S = 0,6$  мм<sup>2</sup>. Определить, какая доля полного сопротивления катушки приходится на реактивное сопротивление. Удельное сопротивление меди  $\rho = 17$  нОм·м.
- 8.20. В цепь переменного тока частотой  $n = 50$  Гц включена катушка длиной  $l = 30$  см и площадью поперечного сечения  $S = 10$  см<sup>2</sup>, содержащая  $N = 1000$  витков. Определить активное сопротивление катушки, если известно, что сдвиг фаз  $\varphi$  между напряжением и током составляет 30°. .
- 8.21. К зажимам генератора присоединен конденсатор емкостью  $C = 0,15$  мкФ. Определить амплитудное значение напряжения на зажимах, если амплитудное значение силы тока равно 3,3 А, а частота тока составляет 5 кГц. .
- 8.22. Определить в случае переменного тока ( $n = 50$  Гц) полное сопротивление участка цепи, состоящего из параллельно включенного конденсатора емкостью  $C = 10$  мкФ и резистора сопротивлением  $R = 50$  Ом. .
- 8.23. В цепь переменного тока частотой  $n = 50$  Гц последовательно включены резистор сопротивлением  $R = 100$  Ом и конденсатор

емкостью  $C = 22$  мкФ. Определить, какая доля напряжения, приложенного к этой цепи, приходится на падение напряжения на конденсаторе.

- 8.24. Генератор, частота которого составляет 32 кГц и амплитудное значение напряжения 120 В, включен в резонирующую цепь, емкость которой  $C = 1$  нФ. Определить амплитудное значение напряжения на конденсаторе, если активное сопротивление цепи  $R = 5$  Ом. .
- 8.25. Как и какими индуктивностью  $L$  и емкостью  $C$  надо подключить катушку и конденсатор к резистору сопротивлением  $R = 10$  кОм, чтобы ток через катушку и конденсатор был в 10 раз больше общего тока? Частота переменного напряжения  $n = 50$  Гц. Ответ:  $L = 3,18$  Гн, .
- 8.26. Активное сопротивление колебательного контура  $R = 0,4$  Ом. Определить среднюю мощность  $\langle P \rangle$ , потребляемую колебательным контуром, при поддержании в нем незатухающих гармонических колебаний с амплитудным значением силы тока  $I_m = 30$  мА. .
- 8.27. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью  $C = 5$  нФ и катушку индуктивностью  $L = 5$  мкГн и активным сопротивлением  $R = 0,1$  Ом. Определить среднюю мощность  $\langle P \rangle$ , потребляемую колебательным контуром, при поддержании в нем незатухающих гармонических колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе  $U_m = 10$  В. .
- 8.28. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью  $L = 6$  мкГн и конденсатор емкостью  $C = 1,2$  нФ. Для поддержания в колебательном контуре незатухающих гармонических колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе  $U_m = 2$  В необходимо подводить среднюю мощность  $\langle P \rangle = 0,2$  мВт. Считая затухание колебаний в контуре достаточно малым, определить добротность данного контура. .
- 8.29. В сеть переменного тока с действующим значением напряжения 120 В последовательно включены проводник с активным сопротивлением 10 Ом и катушка индуктивностью 0,1 Гн. Определить частоту  $n$  тока, если амплитудное значение силы тока в цепи равно 5 А.

## 9. Электромагнитные волны

- 9.1. Скорость распространения электромагнитных волн в некоторой среде составляет  $v = 250$  мм/с. Определить длину волны электромагнитных волн в этой среде, если их частота в вакууме  $\nu_0 = 1$  МГц. .
- 9.2. Для демонстрации преломления электромагнитных волн Герц применял призму, изготовленную из парафина. Определить показатель преломления парафина, если его диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 2$  и магнитная проницаемость  $\mu = 1$ . .
- 9.3. Электромагнитная волна с частотой  $\nu = 5$  МГц переходит из немагнитной среды с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$  в вакуум. Определить приращение ее длины волны. .
- 9.4. Радиолокатор обнаружил в море подводную лодку, отраженный сигнал от которой дошел до него за  $t = 36$  мкс. Учитывая, что диэлектрическая проницаемость воды  $\epsilon = 81$ , определить расстояние от локатора до подводной лодки. .
- 9.5. После того как между внутренним и внешним проводниками кабеля поместили диэлектрик, скорость распространения электромагнитных волн в кабеле уменьшилась на 63 %. Определить диэлектрическую восприимчивость вещества прослойки. .
- 9.6. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью  $C = 0,5$  нФ и катушку индуктивностью  $L = 0,4$  мГн. Определить длину волны излучения, генерируемого контуром. .
- 9.7. Определить длину электромагнитной волны в вакууме на которую настроен колебательный контур, если максимальный заряд на обкладках конденсатора  $Q_m = 50$  нКл, а максимальная сила тока в контуре  $I_A = 1,5$  А. Активным сопротивлением контура пренебречь. .
- 9.8. Длина  $\lambda$  электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, равна 12 м. Пренебрегая активным сопротивлением контура, определить максимальный заряд  $Q_m$  на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока в контуре  $I_m = 1$  А. .
- 9.9. Два параллельных провода, одни концы которых изолированы, погружены в трансформаторное масло, а вторые индуктивно соединены с генератором электромагнитных колебаний частотой 505 МГц, погружены в трансформаторное масло. При

соответствующем подборе частоты колебаний в системе возникают стоячие волны. Расстояние между двумя пучностями стоячих волн на проводах равно 20 см. Принимая магнитную проницаемость масла равной единице, определить его диэлектрическую проницаемость. .

- 9.10. Два параллельных провода, одни концы которых изолированы, а вторые индуктивно соединены с генератором электромагнитных колебаний, погружены в спирт. При соответствующем подборе частоты колебаний в системе возникают стоячие волны. Расстояние между двумя узлами стоячих волн на проводах равно 40 см. Принимая диэлектрическую проницаемость спирта  $\epsilon = 26$ , а его магнитную проницаемость  $\mu = 1$ , определить частоту колебаний генератора. .
- 9.11. В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны равна 10 В/м. Определить амплитуду напряженности магнитного поля волны. .
- 9.12. В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны равна 1 мА/м. Определить амплитуду напряженности электрического поля волны. .
- 9.13. Плоская монохроматическая электромагнитная волна распространяется вдоль оси  $x$ . Амплитуда напряженности электрического поля волны  $E_0 = 5$  мВ/м, амплитуда напряженности магнитного поля волны  $H_0 = 1$  мА/м. Определить энергию, перенесенную волной за время  $t = 10$  мин через площадку, расположенную перпендикулярно оси  $x$ , площадью поверхности  $S = 15$  см<sup>2</sup>. Период волны  $T \ll t$ . .
- 9.14. В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны составляет 50 мВ/м. Определить интенсивность волны  $I$ , т. е. среднюю энергию, проходящую через единицу поверхности в единицу времени. .
- 9.15. В вакууме вдоль оси  $x$  распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля составляет 5 мА/м. Определить интенсивность волны  $I$  (см. задачу 9.14). .

## Индивидуальные задания

### Тема 1. Электростатика.

1	1.1, 1.19, 1.38	11	1.11, 1.29, 1.48		
2	1.2, 1.20, 1.39	12	1.12, 1.30, 1.49		
3	1.3, 1.21, 1.40	13	1.13, 1.31, 1.50		
4	1.4, 1.22, 1.41	14	1.14, 1.32, 1.51		
5	1.5, 1.23, 1.42	15	1.15, 1.33, 1.52		
6	1.6, 1.24, 1.43	16	1.16, 1.34, 1.53		
7	1.7, 1.25, 1.44	17	1.17, 1.35, 1.54		
8	1.8, 1.26, 1.45	18	1.18, 1.36, 1.55		
9	1.9, 1.27, 1.46				
10	1.10, 1.28, 1.47		1.62, 1.68, 1.69		

### Тема 2. Постоянный электрический ток.

### Тема 3. Электрические токи в металлах, в вакууме и газах.

1	2.1, 2.8	11	2.4, 2.16	21	2.2, 2.10, 2.16
2	2.2, 2.9	12	2.5, 2.17	22	2.1, 2.9, 2.17
3	2.3, 2.10	13	2.6, 2.8	23	2.8, 2.15, 3.6
4	2.4, 2.11	14	2.7, 2.12	24	2.1, 2.14, 3.5
5	2.5, 2.12	15	2.8, 2.16	25	2.2, 2.13, 3.4
6	2.6, 2.13	16	2.7, 2.15	26	2.3, 2.12, 3.3
7	2.7, 2.14	17	2.6, 2.14	27	2.4, 2.11, 3.2
8	2.1, 2.14	18	2.5, 2.13	28	2.5, 2.10, 3.1
9	2.2, 2.13	19	2.4, 2.12, 3.5	29	2.6, 2.9, 2.15
10	2.3, 2.15	20	2.3, 2.11, 3.6	30	2.7, 2.16, 3.5

### Тема 4. Магнитное поле.

1	4.1, 4.22	11	4.11, 4.32	21	4.1, 4.29, 4.57
2	4.2, 4.23	12	4.12, 4.33	22	4.2, 4.30, 4.56
3	4.3, 4.24	13	4.13, 4.34	23	4.3, 4.31, 4.55
4	4.4, 4.25	14	4.14, 4.35	24	4.4, 4.32, 4.44
5	4.5, 4.26	15	4.15, 4.36	25	4.5, 4.33, 4.53
6	4.6, 4.27	16	4.16, 4.37	26	4.6, 4.34, 4.52
7	4.7, 4.28	17	4.17, 4.38	27	4.7, 4.35, 4.51
8	4.8, 4.29	18	4.18, 4.39	28	4.8, 4.36, 4.50

9	4.9, 4.30	19	4.19, 4.40, 4.59	29	4.9, 4.37, 4.49
10	4.10, 4.31	20	4.20, 4.41, 4.58	30	4.10, 4.38, 4.48

Тема 5. Электромагнитная индукция.

Тема 6. Магнитные свойства вещества.

Тема 7. Основы теории Максвелла для электромагнитного поля.

1	5.1	11	5.11	21	5.4, 5.31, 6.5
2	5.2	12	5.12	22	5.5, 5.30, 6.4
3	5.3	13	5.13	23	5.6, 5.29, 6.3
4	5.4	14	5.14	24	5.7, 5.28, 6.2
5	5.5	15	5.15	25	5.8, 5.27, 6.1
6	5.6	16	5.16	26	5.9, 5.35, 7.1
7	5.7	17	5.17	27	5.10, 5.36, 7.2
8	5.8	18	5.1	28	5.11, 5.37, 7.3
9	5.9	19	5.2, 5.33, 6.7	29	5.12, 5.26, 7.4
10	5.10	20	5.3, 5.32, 6.6	30	5.13, 5.25, 7.5 . 5.21

Тема 8. Электромагнитные колебания. 8.8, 6.5 , 7.1, 7.2, 8.12,8.13

Тема 9. Электромагнитные волны.

### Литература

1. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по курсу физики. – СПб.: СпецЛит, 2001.
2. *Трофимова Т.И.* Сборник задач по курсу физики для вузов. – М.: «Оникс 21 век», «Мир и Образование», 2003.
3. *Чертов А.Г., Воробьев А.А.* Задачник по физике. – М.: Интеграл-пресс, 1977.

**Основные физические постоянные**

Атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Боровский радиус	$r_0 = 0,52917706 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31441 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Гравитационная постоянная	$\gamma = 6,6720 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Магнетон Бора	$\mu_B = \begin{cases} 0,9274078 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/Тл} \\ 0,9274078 \cdot 10^{-23} \text{ эрг/Гс} \end{cases}$
Масса нейтрона	$m_n = \begin{cases} 1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \\ 1,00863 \text{ а.е.м.} \\ 939,57 \text{ МэВ} \end{cases}$
Масса протона	$m_p = \begin{cases} 1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \\ 1,00783 \text{ а.е.м.} \\ 938,28 \text{ МэВ} \end{cases}$
Масса электрона	$m_e = \begin{cases} 0,9109534 \cdot 10^{-30} \text{ кг} \\ 0,51100 \text{ МэВ} \end{cases}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Постоянная Больцмана	$k = \begin{cases} 1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \\ 0,8617082 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К} \end{cases}$
Постоянная закона смещения Вина	$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$\hbar = \begin{cases} 1,0545887 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \\ 0,6582176 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с} \end{cases}$
Постоянная Ридберга	$R = 2,0670687 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$
Постоянная Стефана-Больцмана	$\sigma = 5,670 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Скорость света в вакууме	$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ $c^2 = 931,42 \text{ МэВ/а.е.м.}$
Стандартное атмосферное давление	$p = 1013,25 \text{ гПа}$
Стандартное ускорение свободного падения	$g = 9,80665 \text{ м/с}^2$

Электрическая постоянная	$1/4\pi\epsilon_0=8,9875 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$
Магнитная постоянная	$\mu_0/4\pi = 10^{-7} \text{ Н/А}^2$
Элементарный заряд	$e = \begin{cases} 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \\ 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ} \end{cases}$