

ВВЕДЕНИЕ

Одним из факторов, определяющих качество подготовки преподавателей физики для системы образования, является умение пользоваться теоретическими знаниями для решения физических задач, что требует их рационального подбора и оптимизации содержания.

В данном сборнике содержание, типы и степень сложности задач соответствуют образовательному стандарту Республики Беларусь и типовым учебным программам специальностей: 1 – 02 05 02 Физика; 1 – 02 05 04 – 01 Физика. Математика; 1 – 02 05 04 – 02 Физика. Информатика; 1 – 02 05 04 – 03 Физика. Трудовое обучение; 1 – 02 05 04 – 04 Физика. Техническое творчество. Задачи подобраны и систематизированы с учетом опыта проведения практических занятий по курсу «Электричество и магнетизм» на физическом факультете Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка.

Сборник состоит из трех разделов: «Электростатика», «Постоянный ток», «Электромагнетизм», каждый из которых поделен на отдельные темы с соответствующим набором задач. В начале каждого раздела приведены формулы, выражающие сущность основных физических законов. В конце сборника даны таблицы основных физических величин и постоянных, необходимых для работы со сборником.

Содержание задач, их типы, уровень сложности и способы решения различны. Это позволит использовать их для групповой и индивидуальной работы со студентами, организации их самостоятельной работы и составления контрольных работ. Большинство задач составлено авторами, часть заимствована из известных пособий, но переработана. Названия и обозначения единиц измерения величин, используемых в пособии, соответствуют Международной системе единиц измерения (СИ).

Сборник предназначен для студентов и преподавателей физических специальностей высших и средних специальных учебных заведений.

Раздел 1

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Основные законы и формулы

Заряд любого тела (частицы) $q = Ne$, где $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — элементарный заряд, N — число элементарных зарядов.

В электрически замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов тел (частиц) сохраняется во всех процессах, происходящих в этой системе.

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const} \text{ — закон сохранения заряда.}$$

Модуль силы взаимодействия между двумя неподвижными относительно рассматриваемой инерциальной системы отсчета точечными зарядами q_1 и q_2 , находящимися на расстоянии r в однородной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью ε ,

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2},$$

где $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл², $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная.

По этой же формуле можно рассчитывать и силу взаимодействия между движущимися зарядами при условии, что скорости их движения малы по сравнению со скоростью света.

Напряженность электростатического поля в данной точке пространства

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0},$$

где \vec{F} — сила, действующая на положительный пробный заряд q_0 , помещенный в эту точку.

Модуль вектора напряженности поля, создаваемого точечным зарядом q на расстоянии r от него, а также шаром, или сферой, заряд которых равен q в точке вне шара (сферы) на расстоянии r от центра, определяется по формуле

$$E = \frac{kq}{\varepsilon r^2}.$$

Модуль вектора напряженности поля на расстоянии a вдоль нормали от бесконечно длинной нити, заряженной с линейной плотностью заряда τ ,

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 a^2}.$$

Если нить имеет конечную длину, то напряженность поля в точке, находящейся на перпендикуляре, восстановленном из середины нити, на расстоянии a от нее,

$$E = \frac{\tau \sin \theta}{2\pi\epsilon\epsilon_0 a}.$$

Модуль вектора напряженности поля равномерно заряженной бесконечно большой плоскости

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0},$$

где σ — поверхностная плотность распределения заряда.

Если плоскость представляет собой диск радиусом R , то модуль вектора напряженности поля в точке, находящейся на перпендикуляре, восстановленном из центра диска, на расстоянии a от него,

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} \left(1 - \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}} \right).$$

Модуль вектора напряженности поля, образованного разноименно заряженными параллельными бесконечными плоскостями (поле плоского конденсатора),

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}.$$

В любой точке пространства напряженность электростатического поля, созданного системой зарядов, равна геометрической сумме напряженностей полей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов в отдельности:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i.$$

При перемещении заряда q_0 в однородном электростатическом поле с напряженностью \vec{E} поле совершает работу

$$A = q_0 E \Delta x,$$

где Δx — проекция перемещения на направление линий напряженности поля.

Потенциал в любой точке электростатического поля

$$\varphi = \frac{W}{q_0},$$

где W — потенциальная энергия пробного заряда q_0 , помещенного в данную точку поля.

Потенциал поля, созданного системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов полей, создаваемых в данной точке каждым из зарядов:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i.$$

Потенциал поля, созданного точечным зарядом q на расстоянии r от него, а также шаром, или сферой, заряд которых равен q в точке вне шара (сферы) на расстоянии r от центра, определяется по формуле

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon r}.$$

При перемещении заряда q_0 из точки поля с потенциалом φ_1 в точку поля с потенциалом φ_2 электростатическое поле совершает над зарядом работу, численное значение которой не зависит от формы траектории и определяется по формуле

$$A = q_0(\varphi_1 - \varphi_2) = q_0 U,$$

где $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ — разность потенциалов (напряжение) между этими точками.

Если заряд q_0 перемещается в поле точечного заряда q , то работа поля

$$A = k \frac{qq_0}{\varepsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

Модуль напряженности однородного электростатического поля связан с разностью потенциалов двух точек поля, потенциалы которых φ_1 и φ_2 , соотношением

$$E = \frac{U}{\Delta x},$$

где Δx — расстояние между эквипотенциальными поверхностями с потенциалами φ_1 и φ_2 .

Емкость уединенного проводника

$$C = \frac{q}{\varphi},$$

где q — заряд, φ — потенциал проводника.

Емкость шара радиусом R , находящегося в однородной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью ε , равна

$$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R.$$

Емкость конденсатора, разность потенциалов между обкладками которого равна U , а заряд q , определяется по формуле

$$C = \frac{q}{U}.$$

Емкость плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где S — площадь одной обкладки, d — расстояние между обкладками.

Емкость сферического конденсатора

$$C = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}.$$

Емкость цилиндрического конденсатора

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 h}{\ln(R_2/R_1)}.$$

При последовательном соединении конденсаторов напряжение на зажимах батареи равно алгебраической сумме напряжений на отдельных конденсаторах, заряды всех конденсаторов одинаковы, а полный заряд батареи равен заряду одного конденсатора, т. е.

$$U = \sum_{i=1}^n U_i, \quad q = q_1 = q_2 = q_3 \dots = q_n.$$

Емкость батареи конденсаторов при последовательном соединении определяется из соотношения

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

При параллельном соединении конденсаторов напряжение на каждом из них одинаково и равно напряжению на зажимах батареи, а полный заряд батареи равен алгебраической сумме зарядов отдельных конденсаторов, т. е.

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n, \quad q = \sum_{i=1}^n q_i.$$

Емкость батареи конденсаторов при их параллельном соединении равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i.$$

Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

Энергия однородного электростатического поля

$$W = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} Sd = \frac{\epsilon\epsilon_0 S U^2}{2d} = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} V,$$

где V — объем, в котором существует поле.

Плотность энергии электростатического поля

$$\omega = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{D^2}{\epsilon\epsilon_0}.$$

Энергия уединенного заряженного проводника

$$W = \frac{q\phi}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\phi^2}{2}.$$

Полная энергия электростатического поля системы n заряженных проводников состоит из суммы энергий собственных полей этих проводников и энергий их взаимодействия:

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i,$$

где q_i — заряд i -го проводника; φ_i — потенциал i -го проводника, создаваемый как полем всех остальных проводников, так и собственным полем этого проводника.

Сила притяжения пластин плоского конденсатора

$$F = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 S}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S \varphi^2}{2d^2} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Взаимодействие электрических зарядов

1.1. Во сколько раз кулоновская сила взаимодействия электронов больше силы их гравитационного взаимодействия? Сила кулоновского взаимодействия электрона с ядром атома водорода силы их гравитационного взаимодействия?
 $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг; $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг².

1.2. Какое число электронов имеет заряд в 1,0 Кл? Представим себе, что два заряда, каждый из которых состоит из 1,0 г электронов, находятся на расстоянии 10 млн. км. С какой силой они бы взаимодействовали?

1.3. На двух одинаковых каплях воды находится по одному избыточному электрону, причем сила электростатического отталкивания капель уравновешивается силой их гравитационного притяжения. Чему равны радиусы капель?

1.4. С какой силой будут притягиваться два одинаковых свинцовых шарика радиусом 1,0 см каждый, находящиеся на расстоянии 1,0 м друг от друга, если у каждого атома первого шарика отнять по одному электрону и перенести их на другой шарик?

1.5. Металлический шарик имеет $5 \cdot 10^5$ избыточных электронов. Определить его заряд в кулонах. Сколько избыточных зарядов помещается на шарике после его соприкосновения с другим таким же шариком, заряд которого $3,2 \cdot 10^{-14}$ Кл?

1.6. Заряженные шарики, находящиеся на расстоянии 2,0 м друг от друга, отталкиваются с силой 1,0 Н. Общий заряд шариков $5,0 \cdot 10^{-5}$ Кл. Как распределены заряды между шариками?

1.7. Два одинаковых заряженных шарика находятся на расстоянии 30 см друг от друга и притягиваются с силой 90 мкН. После того как шарики были приведены в соприкосновение и затем отведены на то же расстояние, они стали отталкиваться с силой 160 мкН. Определить заряды шариков, которые они имели до соприкосновения.

1.8. Два одинаковых маленьких шарика, имеющие заряды 1,0 мкКл и $-0,33$ мкКл, приведены в соприкосновение, а затем разведены на расстояние 20 см. Определить силу взаимодействия между шариками.

1.9. Два одинаковых шарика подвешены на нитях длиной по 20 см каждая так, что поверхности шариков соприкасаются. После того как каждому шарiku сообщили заряд 400 нКл, шарики разошлись и нити составили между собой угол 60° . Определить массу шариков.

1.10. Два одинаковых заряженных шарика подвешены на нитях равной длины в одной точке. Какой должна быть плотность материала шариков, чтобы при опускании их в жидкость, плотность которой 800 кг/м^3 и относительная диэлектрическая проницаемость равна 2, угол между ними не изменился?

1.11. Два заряда $9Q$ и $-Q$ закреплены на расстоянии 50 см друг от друга. Третий заряд Q_1 может перемещаться только вдоль прямой, проходящей через эти заряды. Определить положение заряда Q_1 , при котором он будет находиться в равновесии.

1.12. Тонкая непроводящая нить выдерживает максимальную силу натяжения 10 мН. На этой нити подвешен шарик массой 0,6 г, имеющий положительный заряд 11 нКл. Снизу в направлении линии подвеса шарика к нему подносят другой шарик, имеющий отрицательный заряд -13 нКл. При каком расстоянии между центрами шариков нить разорвется?

1.13. Два шарика массой по 0,2 г каждый подвешены на нити друг за другом на расстоянии 3 см между собой. Определить силу натяжения нити на разных участках, если шарикам сообщили одинаковые по модулю заряды по 10 нКл. Рассмотреть случаи, когда заряды одноименные и разноименные.

1.14. Три одинаковых точечных заряда q расположены в вершинах равностороннего треугольника со стороной a . Какая сила действует на каждый из этих зарядов?

1.15. Три одинаковых точечных заряда по $Q = 9$ нКл каждый расположены в вершинах равностороннего треугольника. Где и какой заряд нужно расположить, чтобы система зарядов была в равновесии?

1.16. Расстояние между точечными зарядами ± 1 мкКл равно 10 см. Определить силу, действующую на точечный заряд 0,1 мкКл, который находится на расстоянии 6 см от одного и 8 см от другого заряда.

1.17. Четыре одинаковых заряда по 10 нКл каждый расположены в вершинах квадрата, сторона которого равна 10 см. Определить силу, действующую со стороны трех зарядов на четвертый.

1.18. Четыре одинаковых по модулю заряда по 20 нКл каждый, два из которых — положительные, а два — отрицательные, расположены в вершинах квадрата, сторона которого равна 20 см. Определить силу, действующую на положительный заряд 20 нКл, помещенный в центр квадрата.

1.19. В вершинах шестиугольника расположены одинаковые положительные точечные заряды по 10,0 нКл каждый. Какой заряд необходимо поместить в центр шестиугольника, чтобы равнодействующая сила на каждый заряд была равна нулю?

1.20. Два неподвижных заряда по 1,6 нКл каждый расположены на расстоянии 20 см друг от друга. Вдоль перпендикуляра, который проходит через

середину отрезка, соединяющего эти заряды, движется отрицательный заряд $-1,6$ нКл. В какой точке этого перпендикуляра сила взаимодействия отрицательного заряда с системой положительных зарядов будет максимальной?

1.21. Тонкий прямой стержень, имеющий длину $l = 15$ см, равномерно заряжен с линейной плотностью заряда $\tau = 0,10$ мкКл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии $r = 10$ см от его ближайшего конца расположен точечный заряд $q = 10$ нКл. Определить силу взаимодействия стержня и заряда.

1.22. Длинный тонкий стержень равномерно заряжен зарядом с линейной плотностью заряда $\tau = 1,0$ мкКл/м. На перпендикуляре к оси стержня, установленного с его конца, расположен точечный заряд $q = 10$ мкКл. Расстояние от заряда до конца стержня $l = 20$ см. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

1.23. На тонком, согнутом под углом 90° , бесконечном стержне равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 1$ мкКл/м. Определить силу, действующую на точечный заряд $q = 0,1$ мкКл, расположенный на продолжении одной из сторон стержня на расстоянии $l = 50$ см от вершины угла.

1.24. Тонкое кольцо радиусом $R = 10$ см имеет равномерно распределенный заряд $q_1 = 0,1$ мкКл. На перпендикуляре к плоскости кольца, установленного в его середине (на оси кольца), расположен точечный заряд $q_2 = 10$ мкКл. Определить силу, действующую со стороны кольца на точечный заряд, если он находится на расстоянии $r_1 = 20$ см и $r_2 = 2$ м от его центра. На каком расстоянии от центра кольца эта сила будет максимальна; равна нулю?

1.25. Тонкое полукольцо радиусом $r = 10$ см имеет равномерно распределенный заряд с линейной плотностью $\tau = 1$ мкКл/м. В центре кривизны полукольца расположен точечный заряд $Q = 20$ нКл. Определить силу взаимодействия точечного заряда и заряда полукольца.

1.26. Электрический заряд Q распределен равномерно по тонкому проволочному кольцу, радиус которого R . В центре кольца расположен одноименный с Q заряд Q_1 , причем $Q_1 \gg Q$. Определить величину силы растяжения кольца.

Напряженность электрического поля

1.27. Два заряда, один из которых по модулю в 4 раза больше другого, расположены на расстоянии a друг от друга. В какой точке пространства напряженность поля равна нулю, когда заряды одноименные и разноименные?

1.28. Два заряда расположены на оси Ox : один заряд $1,25$ нКл в точке $x_1 = 3,0$ см, а другой заряд $-1,25$ нКл в точке $x_2 = -3,0$ см. Определить модуль и направление напряженности поля в точках $(0; 0)$, $(0; 3)$, $(0; -3)$ на оси Oy .

1.29. Поле создается двумя зарядами, расположенными на оси Ox . Один заряд $+e$ размещен в точке $x_1 = 1,0$ см, а другой заряд $-4e$ в точке $x_2 = -2,0$ см.

Определить координаты точек с нулевой напряженностью. Сколько будет таких точек?

1.30. Заряды по $q = 0,1$ мкКл расположены на расстоянии $r = 6$ см друг от друга. Найдите напряженность поля в точке, отдаленной на $l = 5$ см от каждого из зарядов. Решите эту задачу для случаев: а) оба заряда положительные; б) один заряд положительный, а другой отрицательный.

1.31. Электрическое поле создается точечными зарядами 30 нКл и -10 нКл, расстояние между которыми 20 см. Определить напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 15 см от первого и 10 см от второго зарядов.

1.32. В трех вершинах квадрата, сторона которого 40 см, расположены положительные заряды по 5,0 нКл каждый. Найти напряженность электрического поля в четвертой вершине. Чему будет равна напряженность поля, если в противоположной вершине будет отрицательный заряд?

1.33. Четыре одинаковых заряда по 40 мкКл каждый расположены в вершинах квадрата, сторона которого 20 мм. Определить напряженность электрического поля на расстоянии 20 см от центра квадрата на продолжении его диагонали.

1.34. Диагонали ромба равны 96 см и 32 см. На концах длинной диагонали расположены заряды 64 нКл и 352 нКл, на концах короткой диагонали — заряды 8 нКл и 40 нКл. Определить модуль и направление (относительно короткой диагонали) напряженности электрического поля в центре ромба.

1.35. В вершинах правильного шестиугольника расположены три положительных и три отрицательных заряда по 1,5 нКл каждый. Сторона шестиугольника 3 см. Определить напряженность электрического поля в центре шестиугольника. Рассмотреть все возможные расположения зарядов в вершинах шестиугольника.

1.36. Решить предыдущую задачу при условии, что все заряды, размещенные в вершинах шестиугольника, положительные.

1.37. По отрезку тонкого прямого проводника длиной $l = 10$ см равномерно распределен заряд с линейной плотностью заряда $\tau = 3$ мкКл/м. Определить напряженность электрического поля в точке, расположенной на оси проводника на расстоянии от ближайшего конца проводника, равном его длине.

1.38. Тонкий стержень длиной $l = 12$ см заряжен с линейной плотностью $\tau = 200$ мкКл/м. Определить напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $r = 5,0$ см от стержня напротив его середины.

1.39. Тонкий стержень длиной $l = 10$ см заряжен зарядом с линейной плотностью заряда $\tau = 400$ нКл/м. Определить напряженность электрического поля в точке, находящейся на перпендикуляре к стержню, проведенном через один из его концов, на расстоянии $r = 8$ см от этого конца.

1.40. Два прямых тонких стержня, длина которых $l_1 = 12$ см и $l_2 = 16$ см соответственно, заряжены зарядом с линейной плотностью $\tau = 400$ нКл/м. Стержни

составляют прямой угол. Найти напряженность электрического поля в точке, находящейся в конце диагонали прямоугольника, который составляют стержни.

1.41. Кольцо из проволоки радиусом 10 см заряжено зарядом -5 нКл. Определить напряженность электрического поля на оси кольца в точках, размещенных от центра кольца на расстояниях 0 см, 5 см, 8 см, 10 см, 15 см. Построить график зависимости напряженности поля от расстояния от центра кольца до точки на его оси $E = f(h)$. На каком расстоянии h от центра кольца напряженность электрического поля будет максимальной?

1.42. Заряд $q = 10$ нКл равномерно распределен по проволочной дуге радиусом $R = 10$ см, угол раствора которой составляет $\alpha_1 = \pi$ рад и $\alpha_2 = 2\pi/3$ рад. Определить напряженность электрического поля в центре дуги.

1.43. Заряд $q = 9$ нКл равномерно распределен по поверхности диска радиусом $R = 4$ см. Определить напряженность электрического поля в центре диска и на его оси на расстоянии $h = 5$ см от центра.

1.44. Молекулу воды можно рассматривать как диполь, плечо которого равно $3,9 \cdot 10^{-11}$ м, с зарядами, равными заряду электрона. Определить напряженность электрического поля диполя на расстоянии $3,0 \cdot 10^{-9}$ м от середины диполя в точке на продолжении оси диполя и на перпендикуляре к его оси.

1.45. Молекулу воды можно рассматривать как диполь длиной $l = 3,9 \cdot 10^{-11}$ м с зарядами, равными заряду электрона. Определить силу взаимодействия двух молекул воды, диполи которых лежат на одной прямой на расстоянии $R = 10^{-8}$ см между их центрами. Как зависит сила взаимодействия от расположения зарядов в диполе?

1.46. На расстоянии $r = 0,5$ м от центра равномерно заряженной сферы, заряд которой $Q = 3 \cdot 10^{-4}$ Кл, находится диполь, ось которого направлена вдоль силовой линии электрического поля сферы. Величина зарядов диполя равна $q = \pm 10^{-8}$ Кл, длина плеча диполя $l = 1$ см. Определить силу, действующую на диполь.

1.47. Диполь с электрическим моментом $P = 20$ нКл·м находится в неоднородном электрическом поле, степень неоднородности которого характеризуется величиной $\nabla E = 1$ МВ/м в направлении оси диполя. Определить силу, которая будет действовать на диполь в этом направлении.

1.48. В плоском горизонтально расположенном конденсаторе капля ртути находится в равновесии при напряженности электрического поля 600 В/см. Заряд капли равен 2 нКл. Определить радиус капли.

1.49. Шарик массой $m = 1$ г подвешен на нити длиной $l = 36$ см. Как изменится период колебаний шарика, если, сообщив ему положительный или отрицательный заряд $q = \pm 20$ нКл, поместить шарик в однородное электрическое поле напряженностью $E = 100$ кВ/м, направленное вниз?

1.50. В однородном электрическом поле напряженностью 1,0 МВ/м, направленном под углом 30° к вертикали, висит на нити шарик массой 2,0 г, имеющий заряд 20 нКл. Определить силу натяжения нити.

1.51. Шарик массой $m = 1,0$ г подвешен между горизонтальными пластинами конденсатора. Период его колебаний при отсутствии зарядов равен $T_0 = 0,68$ с. После того как конденсатор и шарик были заряжены, период колебаний стал равен $T = 0,314$ с. С какой силой поле действовало на шарик? Какова длина нити, на которой подвешен шарик? Определить, каким будет период колебаний, если изменить знак заряда на шарике на противоположный.

Теорема Гаусса и ее применение

1.52. В центре сферы радиусом 20 см находится точечный заряд 10 нКл. Определить поток вектора напряженности электрического поля через часть сферической поверхности площадью 20 см^2 .

1.53. Плоская квадратная пластинка, сторона которой равна 10 см, находится на некотором расстоянии от бесконечной равномерно заряженной пластины с поверхностной плотностью заряда 1 мкКл/м^2 . Плоскость пластинки составляет угол 30° с линиями поля. Определить поток вектора напряженности и электрического смещения через эту пластинку.

1.54. Прямоугольная плоская пластинка, стороны которой равны 3 см и 2 см, находится на расстоянии 1,0 м от точечного заряда 1,0 мкКл. Пластинка ориентирована так, что линии напряженности составляют угол 30° с ее поверхностью. Определить поток напряженности электрического поля через эту пластинку.

1.55. Электрическое поле создано точечным зарядом $q = 0,1 \text{ мкКл}$. Определить поток электрического смещения через круглую пластинку радиусом $R = 30$ см. Заряд равноудален от сторон пластинки и находится на расстоянии $l = 40$ см от ее центра.

1.56. Определить поток вектора напряженности электрического поля через замкнутую шаровую поверхность, внутри которой расположены три точечных заряда 2, 5 и -3 нКл.

1.57. На металлической сфере радиусом 10 см находится заряд 1 нКл. Определить напряженность электрического поля на расстоянии 8 см от центра сферы, на ее поверхности и на расстоянии 15 см от центра. Построить график $E = f(r)$.

1.58. Две концентрические заряженные сферы радиусами 6 см и 10 см имеют соответственные заряды 1 нКл и $-0,5$ нКл. Определить напряженность электрического поля в точках на расстояниях 5 см, 9 см и 15 см от центра сферы. Построить график $E = f(r)$.

1.59. Бесконечно длинная тонкостенная металлическая трубка радиусом $R = 2$ см несет равномерно распределенный по поверхности заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 1 \text{ нКл/м}^2$. Определить напряженность поля в точках, находящихся на расстоянии $r_1 = 1$ см и $r_2 = 3$ см от оси трубки. Построить график зависимости $E = f(r)$.

1.60. Две длинные тонкостенные коаксиальные трубки радиусами 2 см и 4 см несут заряды, равномерно распределенные по их длине с поверхностными плотностями 1 нКл/м^2 и $-0,5 \text{ нКл/м}^2$. Пространство между трубками заполнено эбонитом. Определить напряженность электрического поля в точках, находящихся на расстояниях 1 см, 3 см и 5 см от оси трубок. Построить график зависимости $E = f(r)$.

1.61. С какой силой на единицу длины отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно длинные нити с линейной плотностью заряда $\tau = 3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/см}$, находящиеся на расстоянии $r_1 = 2 \text{ см}$ друг от друга? Какую работу на единицу длины необходимо выполнить, чтобы приблизить эти нити на расстояние $r_2 = 1 \text{ см}$?

1.62. С какой силой на единицу площади отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно большие плоскости с одинаковой поверхностной плотностью $3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/см}^2$?

1.63. Прямая бесконечная нить имеет равномерно распределенный по ее длине заряд с линейной плотностью $\tau_1 = 1,0 \text{ мкКл/м}$. В плоскости, в которой находится нить, перпендикулярно к ней расположен тонкий стержень длиной l и линейной плотностью заряда $\tau_2 = 0,10 \text{ мкКл/м}$. Ближайший конец стержня находится на расстоянии l от нити. Определить силу, действующую на стержень.

1.64. Металлический шар имеет заряд $q_1 = 0,1 \text{ мкКл}$. На расстоянии, равном радиусу шара, от его поверхности находится конец стержня, расположенный вдоль силовой линии. Длина стержня равна радиусу шара. На стержне равномерно распределен заряд $q_2 = 10 \text{ нКл}$. Определить силу, действующую на стержень, если радиус шара равен $r = 10 \text{ см}$.

1.65. Между пластинами плоского конденсатора находится точечный заряд $q = 30 \text{ нКл}$. Поле конденсатора действует на заряд с силой $F = 10 \text{ мН}$. Определить силу взаимного притяжения пластин, если площадь каждой пластины равна $S = 100 \text{ см}^2$.

1.66. Между пластинами плоского конденсатора подвешен маленький шарик с зарядом $q = 10 \text{ нКл}$. Какой заряд необходимо сообщить пластинам конденсатора, чтобы нить с шариком отклонилась на угол $\alpha = 45^\circ$ от вертикали? Масса шарика $m = 4,0 \text{ г}$, площадь пластин конденсатора $S = 314 \text{ см}^2$.

Работа сил поля по перемещению зарядов.

Потенциал электрического поля

1.67. Точечный заряд 10 нКл находится в некоторой точке поля и имеет потенциальную энергию 10 мкДж. Определить потенциал в этой точке поля.

1.68. Электрическое поле создано точечным положительным зарядом 6 нКл. Положительный заряд Q_2 переносится из точки A в точку B этого поля. Чему

равно изменение потенциальной энергии, приходящееся на единицу заряда, который переносится в поле, если $r_1 = 20$ см, а $r_2 = 50$ см?

1.69. Электрическое поле создано точечным зарядом 50 нКл. Не пользуясь понятием потенциала, определить работу внешних сил по перемещению точечного заряда -2 нКл из точки A в точку B , если $r_1 = 10$ см, а $r_2 = 20$ см. Определить также изменение потенциальной энергии системы зарядов.

1.70. Два одноименных заряда по 1 нКл каждый находятся на некотором расстоянии друг от друга. Определить потенциал точки поля, находящейся на расстоянии 9 см от каждого из зарядов. Как изменится этот потенциал, если все пространство, в котором находятся заряды, заполнить жидкостью с диэлектрической проницаемостью, равной 2?

1.71. Заряды 1,0 мкКл и $-1,0$ мкКл находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Определить потенциал и напряженность поля в точке, находящейся на расстоянии 10 см от первого заряда на перпендикуляре к линии, соединяющей эти заряды. Перпендикуляр проходит через первый заряд.

1.72. Поле создано зарядами $2Q$ и $-Q$, находящимися на расстоянии 12 см друг от друга. Определить точку на линии, соединяющей эти заряды, где потенциал будет равен нулю. Чему равна напряженность электрического поля в этой точке, если первый заряд равен 2 нКл, а второй — -1 нКл?

1.73. Заряды 1,0 мкКл и $-1,0$ мкКл находятся на расстоянии 10 см друг от друга. Определить потенциал и напряженность электрического поля в точке, находящейся на середине отрезка, соединяющего эти заряды. Построить рисунок эквипотенциальных линий и линий напряженности системы этих зарядов. Как изменится рисунок этих линий, если первый заряд будет 2,0 мкКл, а второй — $-1,0$ мкКл?

1.74. На отрезке тонкого прямого проводника равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 10$ нКл/м. Определить потенциал электрического поля в точке, которая лежит на перпендикуляре, проходящем через его середину, на расстоянии, равном длине этого отрезка.

1.75. На тонком стержне длиной 10 см равномерно распределен заряд 1,0 нКл. Определить потенциал электрического поля в точке, лежащей на оси проводника на расстоянии 20 см от его ближайшего конца.

1.76. На бесконечно длинной прямой нити равномерно по длине распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 0,01$ мкКл/м. Определить разность потенциалов двух точек поля, расположенных на расстояниях $r_1 = 2$ см и $r_2 = 4$ см от нити.

1.77. Электрическое поле создано тонким стержнем с равномерно распределенным зарядом $\tau = 0,1$ мкКл/м. Определить потенциал поля в точке, отдаленной от концов стержня на расстояние, равное длине стержня.

1.78. Тонкий стержень с равномерно распределенным зарядом с линейной плотностью $\tau = 0,1$ мкКл/м создает электрическое поле. Определить потенциал

электрического поля в точке, лежащей на перпендикуляре, проходящем через один из его концов, на расстоянии, равном длине стержня.

1.79. Тонкие стержни составляют квадрат. На стержнях равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau = 1$ нКл/м. Определить потенциал в центре квадрата.

1.80. Тонкая круглая пластинка равномерно заряжена зарядом $q = 1$ нКл. Радиус пластинки $R = 5$ см. Определить потенциал электрического поля в центре пластинки и на оси, перпендикулярной плоскости пластинки, на расстоянии $l = 5$ см от центра.

1.81. Заряд распределен на бесконечной плоскости с поверхностной плотностью $\sigma = 10$ нКл/м². Определить разность потенциалов двух точек поля, одна из которых находится на плоскости, а другая — на расстоянии $\Delta r = 10$ см от нее.

1.82. Две параллельные бесконечные плоскости находятся на расстоянии 0,5 см друг от друга. Плоскости имеют равномерно распределенные заряды с поверхностной плотностью 0,2 мкКл/м² и $-0,3$ мкКл/м². Определить разность потенциалов между пластинами.

1.83. Две круглые металлические пластины радиусом $r = 10$ см каждая, заряженные разноименно, расположены параллельно друг другу и притягиваются с силой $F = 2$ мН. Расстояние между пластинами $h = 1$ см. Определить разность потенциалов между пластинами.

1.84. На поверхности шара радиусом 9 см равномерно распределен заряд 0,1 нКл. Определить напряженность и потенциал шара в его центре и на расстоянии 90 см от центра.

1.85. Металлическая сфера, диаметр которой 18 см, заряжена до потенциала 300 В. Определить плотность распределения заряда по поверхности сферы.

1.86. Две концентрические сферы радиусом R и $2R$ заряжены зарядами $q_1 = 0,1$ мкКл и $q_2 = 0,2$ мкКл. На равном расстоянии от каждой из сфер потенциал равен $\varphi = 3$ кВ. Определить радиусы сфер.

1.87. Полый, равномерно заряженный шар создает в центре потенциал $\varphi_0 = 120$ В, а в точке на расстоянии $r_1 = 36$ см от центра — потенциал $\varphi_1 = 20$ В. Определить радиус шара.

1.88. Бесконечная плоскость равномерно заряжена с поверхностной плотностью заряда 4 нКл/м². Определить значение и направление градиента потенциала электрического поля, созданного этой плоскостью.

1.89. Электрическое поле создано положительным точечным зарядом. Потенциал поля в точке на расстоянии $r = 12$ см от заряда равен $\varphi = 24$ В. Определить величину и направление градиента потенциала в этой точке.

1.90. Бесконечная тонкая прямая нить равномерно заряжена зарядом с линейной плотностью 1 мкКл/м. Чему равен градиент потенциала на расстоянии 10 см от нити?

Проводники в электростатическом поле

1.91. Два одинаковых металлических шарика радиусом $r = 2,5$ см каждый находятся на расстоянии $l = 1$ м друг от друга. Шарики заряжены зарядами противоположных знаков $q = \pm 5$ нКл. Чему равна разность потенциалов между ними?

1.92. Два шарика, радиусы которых 3 см и 5 см, заряжены до потенциала 250 В и -100 В и находятся на расстоянии 1 м друг от друга. Определить напряженность и потенциал поля в точке, находящейся на середине прямой, соединяющей эти заряды. Чему будет равна напряженность и потенциал поля в этой же точке, если шарики вначале соединяются проволокой, а затем опять разъединяются? Чему будет равен заряд каждого шарика?

1.93. Точечный заряд $q = 5,0$ нКл находится на расстоянии $r = 50$ см от металлического шарика, радиус которого $R = 3$ см. Определить заряд шарика и его потенциал, если: а) шарик изолирован от Земли; б) шарик соединен проводником с Землей.

1.94. Разноименные заряды $q_{1,2} = \pm 5$ нКл находятся на расстояниях $l_1 = 50$ см и $l_2 = 75$ см от незаряженной сферы радиусом $r = 3$ см. Сфера соединена с Землей. Какой заряд будет индуцироваться на сфере? Какая сила будет действовать на сферу со стороны зарядов q_1 и q_2 ? Заряды q_1 и q_2 расположены на прямых отрезках, которые в центре сферы составляют угол 90° .

1.95. В центре металлической сферы радиусом 5,0 см находится точечный заряд 5,0 нКл. Определить напряженность и потенциал электрического поля внутри сферы на расстоянии 3,0 см от ее центра, на поверхности сферы и вне ее на расстоянии 7,0 см от центра в двух случаях: если сфера не соединена с Землей и если она будет соединена с Землей.

1.96. Металлический шар радиусом $R_1 = 3,0$ см имеет потенциал $\varphi = 30$ В. Шар находится внутри концентрической сферической металлической оболочки радиусом $R_2 = 5,0$ см. Чему будет равен потенциал шара, если внешнюю оболочку соединить с Землей?

1.97. Металлический шар радиусом $r_1 = 3$ см имеет потенциал $\varphi_1 = 30$ В. Шар находится внутри концентрической сферической оболочки радиусом $r_2 = 5$ см. Как изменится потенциал шара после того, как он будет на короткое время соединен проводником с оболочкой?

1.98. Две полые металлические сферы расположены концентрически, и каждой из них сообщается одинаковый заряд 5 нКл. Какие заряды находятся на внешней и внутренней поверхности большей сферы?

1.99. В однородное электрическое поле перпендикулярно к его силовым линиям вносится металлическая пластинка. Какой заряд будет индуцироваться на каждой стороне пластинки, если напряженность поля равна $E = 100$ В/см, а площадь пластинки $S = 100$ см²?

1.100. Две параллельные пластинки расположены недалеко друг от друга. Какой заряд будет индуцироваться на поверхностях второй пластинки, если первой сообщить заряд 10 нКл ?

1.101. В однородное электрическое поле напряженностью 100 В/см внесли две металлические пластинки, соединенные между собой проводником. Площадь каждой пластинки 100 см^2 . Определить величину зарядов, которые будут индуцироваться на пластинках.

1.102. Металлическая сфера, радиус которой $R = 5 \text{ см}$, имеет небольшое отверстие. Внутри сферы находится шарик радиусом $r = 0,5 \text{ см}$, соединенный через отверстие в сфере с другим шариком такого же радиуса. Сфера имеет заряд $Q = 10 \text{ нКл}$. Расстояние между шариками во много раз больше их радиусов. Определить заряды, индуцирующиеся на шариках.

1.103. Источник тока с ЭДС $\varphi = 9 \text{ В}$ соединен с шариками, радиусы которых $r = 2 \text{ см}$. Определить заряды шариков.

1.104. Внутри металлической сферы, внутренний радиус которой $R_1 = 5,0 \text{ см}$, а внешний $R_2 = 6,0 \text{ см}$, помещен точечный заряд $q = 1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ на расстоянии $l = 2,0 \text{ см}$ от центра. Определить потенциал в центре сферы.

1.105. Точечный заряд $q = 5,0 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ находится на расстоянии $l_1 = 3,0 \text{ см}$ от плоской металлической пластины, соединенной с Землей. Определить поверхностную плотность заряда, индуцирующегося на пластине в точке, ближайшей к заряду, и в точке, находящейся на расстоянии $l_2 = 5,0 \text{ см}$ от заряда. Чему равен общий заряд, индуцирующийся на пластине?

1.106. Точечный заряд $q = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ находится на расстоянии $l = 5,0 \text{ см}$ от металлической пластины, соединенной с Землей. Определить напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $r = 5,0 \text{ см}$ от заряда и пластины.

1.107. На расстоянии r от бесконечной горизонтальной металлической заземленной плоскости находится положительный заряд Q . Найти напряженность электростатического поля E в точке A , находящейся на расстоянии $l = 2r$ от заряда.

Диэлектрики в электростатическом поле

1.108. Шар из однородного диэлектрика заряжен зарядом с объемной плотностью ρ . Нарисуйте график зависимости напряженности $E = f(r)$ и электрического смещения $D = f(r)$ от расстояния до центра шара $E = f(r)$.

1.109. Эбонитовый сплошной шар радиусом $5,0 \text{ см}$ имеет заряд, равномерно распределенный по его объему с объемной плотностью 10 нКл/м^3 . Определить напряженность и электрическое смещение в точках на расстоянии 3 см от центра, на поверхности шара и на расстоянии 10 см от центра. Построить графики зависимости $E = f(r)$ и $D = f(r)$.

1.110. Полый стеклянный шар с внутренним радиусом 5,0 см и внешним радиусом 10,0 см равномерно заряжен зарядом с объемной плотностью 100 нКл/м^3 . Определить напряженность электрического поля и электрическое смещение на расстояниях 3,0 см, 6,0 см и 12,0 см от центра шара. Построить графики зависимости $E = f(x)$ и $D = f(x)$.

1.111. Шар, равномерно заряженный зарядом Q , помещен в однородный изотропный диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ε . Чему будет равен поляризационный заряд на границе диэлектрика с шаром?

1.112. Плоский слой диэлектрика заряжен зарядом с постоянной объемной плотностью ρ . Как изменяется напряженность поля слоя в зависимости от расстояния от какой-нибудь точки слева от него? Отобразите зависимость $E = f(r)$ графически.

1.113. Расстояние между пластинами плоского конденсатора равно $d = 2,0 \text{ мм}$, разность потенциалов $U = 1,8 \text{ кВ}$, диэлектрик — стекло ($\varepsilon = 7$). Определить поверхностную плотность поляризационных зарядов на поверхности стекла.

1.114. Плоский конденсатор, между обкладками которого помещена стеклянная пластинка ($\varepsilon = 7$) толщиной $d = 2,0 \text{ мм}$, заряжен до напряжения 200 В. Определить поверхностную плотность свободных зарядов на обкладках конденсатора и поверхностную плотность поляризационных зарядов на стекле.

1.115. Эбонитовая плоскопараллельная пластинка помещена в однородное электрическое поле напряженностью $E_0 = 2 \text{ МВ/м}$. Грани пластинки перпендикулярны к линиям напряженности поля. Определить поверхностную плотность поляризационных зарядов на гранях пластины.

1.116. Пластины плоского конденсатора разделены стеклом. Какое давление создают пластины на стекло перед его пробоем электрическим полем, если напряженность электрического поля непосредственно перед пробоем равна $E = 30 \text{ МВ/м}$?

1.117. Между пластинами плоского конденсатора находится стеклянная пластинка. Площадь пластин конденсатора равна $S = 100 \text{ см}^2$. Пластины конденсатора притягиваются друг к другу с силой $F = 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на поверхности стекла.

1.118. В плоском воздушном конденсаторе, заряженном до некоторой разности потенциалов, пластины притягиваются друг к другу с некоторой силой F_0 . Во сколько раз изменится сила притяжения пластин, если конденсатор опустить в керосин ($\varepsilon = 2,1$)? Задачу решить для двух случаев: конденсатор отключен от источника тока и конденсатор остается соединенным с источником тока.

1.119. Медный шар диаметром 1 см помещен в масло. Плотность масла 800 кг/м^3 , относительная диэлектрическая проницаемость равна 5. Чему равен заряд шара, если в однородном электрическом поле шар оказался во взвешенном

состоянии? Электрическое поле направлено вертикально вверх, его напряженность 36000 В/м .

1.120. Металлический шар радиусом $r = 5,0 \text{ см}$ охвачен равномерным слоем фарфора толщиной $d = 2,0 \text{ см}$. Заряд шара равен $q = 10 \text{ нКл}$. Определить поверхностные плотности поляризованных зарядов на внутренней и внешней поверхностях диэлектрика.

1.121. Металлический шар радиусом $R_1 = 2,0 \text{ см}$, имеющий заряд $q = 30 \text{ нКл}$, охвачен металлической концентрической сферой радиусом $R_2 = 6,0 \text{ см}$, соединенной с Землей. Между шаром и сферой есть сферический слой фарфора, который плотно соединяется с шаром и имеет внешний радиус $R_3 = 4,0 \text{ см}$. Определить потенциал внутреннего шара и поверхностную плотность связанных зарядов на поверхностях фарфорового слоя. Построить графики зависимостей $D = f(r)$, $E = f(r)$, $\varphi = f(r)$, где r — расстояние от центра шара.

1.122. Две длинные тонкостенные коаксиальные трубки радиусами $2,0 \text{ см}$ и $4,0 \text{ см}$ несут заряды, равномерно распределенные по их длине с поверхностными плотностями $1,0 \text{ нКл/м}^2$ и $-0,50 \text{ нКл/м}^2$. Пространство между трубками заполнено эбонитом. Определить напряженность электрического поля в точках, находящихся на расстояниях $1,0 \text{ см}$, $3,0 \text{ см}$ и $5,0 \text{ см}$ от оси трубок. Построить график зависимости $E = f(r)$.

1.123. Длинный парафиновый цилиндр радиусом $2,0 \text{ см}$ имеет равномерно распределенный заряд с объемной плотностью 10 нКл/м^3 . Определить напряженность и электрическое смещение в точках, находящихся на расстояниях $1,0 \text{ см}$ и $3,0 \text{ см}$ от оси цилиндра. Построить графики $E = f(r)$ и $D = f(r)$.

1.124. Диэлектрик поместили в электрическое поле напряженностью $E_0 = 20 \text{ кВ/м}$. Чему равна поляризованность диэлектрика, если напряженность среднего макроскопического поля в диэлектрике оказалась равна $E = 4,0 \text{ кВ/м}$?

1.125. Во внешнем электрическом поле напряженностью $E_0 = 40 \text{ МВ/м}$ поляризованность жидкого азота оказалась равна $P = 100 \text{ мкКл/м}^2$. Определить диэлектрическую проницаемость азота и индуцированный электрический момент одной молекулы. Плотность жидкого азота принять равной 804 кг/м^3 .

1.126. Определить, при какой напряженности среднего макроскопического поля в диэлектрике ($\varepsilon = 3$) поляризованность достигает величины $P_n = 0,2 \text{ мКл/м}^2$.

1.127. Напряженность электрического поля в воздухе у поверхности фарфоровой пластинки равна 200 В/см и составляет с нормалью к поверхности угол 40° . Определить угол между направлением поля и нормалью к пластинке внутри пластинки, напряженность поля в фарфоре и плотность эффективных зарядов на границе фарфор — воздух.

1.128. Пластинам плоского конденсатора, расстояние между которыми равно $d_1 = 1,0 \text{ см}$, сообщена разность потенциалов $U = 300 \text{ В}$. Между пластинами

конденсатора находится плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной $d_2 = 5,0$ мм. Определить напряженность электрического поля в каждом слое, поверхностную плотность зарядов на пластинах, если площадь пластин равна $S = 100$ см². Чему равно напряжение на каждом слое?

Електроемкость. Конденсаторы

1.129. Определить електроемкость Земли, принимая ее за шар радиусом 6400 км.

1.130. Два металлических шарика радиусами 2 см и 6 см соединены проводником. Шарам сообщен заряд 1 нКл. Определить поверхностную плотность заряда на шариках.

1.131. По пластинам плоского конденсатора равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 200$ нКл/м². Расстояние между пластинами равно $d = 1,0$ мм. На сколько изменится разность потенциалов на обкладках конденсатора, если расстояние между пластинами увеличить до $d_1 = 3,0$ мм?

1.132. Между пластинами плоского конденсатора находится стеклянная пластинка ($\epsilon = 6$). Конденсатор заряжен до напряжения $U = 100$ В. Каким будет напряжение, если пластинку извлечь из конденсатора?

1.133. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора $S = 100$ см² и расстояние между ними $d = 5,0$ мм. К пластинам приложена разность потенциалов $U = 300$ В. После отключения конденсатора от источника напряжения пространство между пластинами конденсатора заполняется диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной $\epsilon_1 = 3$. Какой будет разность потенциалов между пластинами после заполнения? Какой будет емкость конденсатора до и после заполнения диэлектриком? Чему равна поверхностная плотность заряда на пластинах конденсатора до и после заполнения?

1.134. Плоский конденсатор помещен в стеклянную посуду и подключен к источнику тока с ЭДС 12 В. Площадь пластин конденсатора 100 см², расстояние между ними 1,0 мм. Определить величину заряда на пластинах конденсатора в следующих случаях: источник тока отсоединяют от конденсатора и в посуду наливают трансформаторное масло; посуду заполняют сначала маслом, а затем конденсатор подключают к источнику тока. Как будет изменяться напряженность поля в конденсаторе в этих случаях?

1.135. Два металлических диска, диаметры которых $d = 10$ см каждый, расположены параллельно так, что центр одного диска находится у края другого. Между дисками находится слой парафиновой бумаги толщиной $h = 200$ мкм. Определить емкость такой системы.

1.136. В плоский воздушный конденсатор с площадью обкладок S и расстоянием между ними d вводится параллельно пластинам металлическая пластинка, размеры которой совпадают с размерами пластин конденсатора, а толщина ее равна $(1/3)d$. Определить емкость такой системы.

1.137. В плоский воздушный конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между ними d введена параллельно его пластинам тонкая металлическая пластинка, размеры которой равны размерам пластин конденсатора, а толщина много меньше расстояния между ними. Металлическая пластинка находится на расстоянии l от одной из пластинок конденсатора. Определить емкость такой системы.

1.138. В плоский воздушный конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между ними d вводится параллельно его обкладкам пластинка из диэлектрика толщиной $d_1 < d$. Площади обкладок конденсатора и пластинки одинаковы. Определить емкость такой системы.

1.139. Пространство между обкладками плоского конденсатора заполняют три пластинки из диэлектриков одинаковой толщины, равной $d = 2,0$ мм (стекла, слюды и парафина). Площадь обкладок и пластинок одинакова и равна $S = 250$ см². Определить емкость такой системы.

1.140. Расстояние между пластинами плоского конденсатора равно 1,33 мм, площадь пластин 20 см². В пространстве между пластинами конденсатора находятся два слоя диэлектриков: слюды толщиной 700 мкм и эбонита толщиной 300 мкм. Определить емкость конденсатора.

1.141. Конденсатор состоит из N металлических листов площадью $S = 200$ см² каждый, разделенных стеклянными пластинками толщиной $d = 2$ мм и диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 7$. Выводы конденсатора подсоединены к крайним листам. Определить емкость такой системы, если $N = 21$.

1.142. Конденсатор состоит из двух концентрических сфер, радиусы которых $r_1 = 10$ см и $r_2 = 10,2$ см. Между сферами — парафин. Внутренней сфере сообщен заряд $q = 0,5$ мкКл. Определить разность потенциалов между сферами.

1.143. Определить емкость сферического конденсатора, радиусы сфер которого равны 0,01 м и 0,0105 м. Пространство между сферами заполнено маслом. Какого радиуса должен быть изолированный шар, чтобы он имел емкость, равную емкости рассмотренного конденсатора?

1.144. Радиус внутренней сферы воздушного сферического конденсатора равен 1 см, внешней — 4 см. Между сферами приложена разность потенциалов 3000 В. Определить напряженность электрического поля на расстоянии 3 см от центра сфер.

1.145. Электрический кабель часто изготавливается в виде центральной проволоки и концентрической (относительно него) цилиндрической оболочки, между которыми находится изоляция. Определить емкость единицы длины такого кабеля, если радиус проволоки 1,3 см, а радиус оболочки 3,0 см. Диэлектрическая проницаемость изоляции равна 3,2.

1.146. Радиус центральной проволоки кабеля равен $r = 1,5$ см, радиус оболочки $R = 3,5$ см. Между центральной проволокой и оболочкой приложена разность потенциалов $U = 2300$ В. Определить напряженность электрического поля на расстоянии $r_1 = 2,0$ см от оси кабеля.

1.147. Два конденсатора, емкости которых равны 3,0 мкФ и 6,0 мкФ, соединены между собой и присоединены к источнику тока с ЭДС 120 В. Определить заряды конденсаторов и разности потенциалов между их обкладками, если конденсаторы соединены: 1) параллельно; 2) последовательно.

1.148. Два одинаковых плоских конденсатора соединены параллельно и заряжены до разности потенциалов 6 В. Определить разности потенциалов между пластинами конденсаторов, если после отключения конденсаторов от источника тока у одного конденсатора уменьшили расстояние между пластинами в два раза.

1.149. Два конденсатора с емкостями $C_1 = 1$ мкФ и $C_2 = 2$ мкФ зарядили до разности потенциалов $U_1 = 20$ В и $U_2 = 50$ В. Определить разность потенциалов после соединения конденсаторов одноименными полюсами.

1.150. Конденсатор емкостью $C_1 = 20$ мкФ, заряженный до разности потенциалов $U_1 = 100$ В, соединили параллельно со вторым конденсатором, заряженным до разности потенциалов $U_2 = 40$ В. После соединения конденсаторов разность потенциалов на них стала равна $U = 80$ В. Определить емкость второго конденсатора.

1.151. Конденсатор емкостью C_1 , заряженный до напряжения U_1 , соединили параллельно, но разноименными полюсами с конденсатором емкостью C_2 , заряженным до напряжения U_2 . Какой заряд окажется на первом конденсаторе после соединения?

1.152. Конденсатор емкостью $C_1 = 1$ мкФ, заряженный до напряжения $U_1 = 100$ В, соединяют параллельно разноименными полюсами с конденсатором емкостью $C_2 = 2$ мкФ. Разность потенциалов на конденсаторах после соединения оказалась равной $U = 200$ В. Определить, какую разность потенциалов имел второй конденсатор до соединения.

1.153. Два конденсатора емкостью $C_1 = 100$ пФ и $C_2 = 200$ пФ соединены последовательно и заряжены до разности потенциалов $U_1 = 600$ В, а затем отключены от источника тока и соединены параллельно. Определить значения зарядов на каждом из конденсаторов и напряжение, которое установится на конденсаторах при их параллельном соединении.

1.154. Три последовательно соединенных конденсатора емкостью 100 пФ, 200 пФ и 500 пФ подключены к источнику тока, который сообщил им заряд 10 мКл. Определить напряжение на первом, втором и третьем конденсаторах, общее напряжение на них и общую емкость соединенных конденсаторов.

1.155. Два одинаковых воздушных конденсатора емкостью $C = 100$ пФ каждый соединены последовательно и подключены к источнику тока с напряжением $U = 10$ В. Как изменится заряд на конденсаторах, если один из них поместить в жидкий диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной $\varepsilon = 2$?

1.156. Два плоских воздушных конденсатора с одинаковыми емкостями соединены последовательно и подключены к источнику тока. Пространство между пластинами одного из конденсаторов заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 9. Во сколько раз изменится напряженность поля в этом конденсаторе? Решить задачу также для случая, когда конденсаторы после зарядки отключают от источника тока.

1.157. Три одинаковых плоских конденсатора соединены последовательно. Площадь каждой пластины конденсаторов равна 100 см^2 , диэлектрик — стекло. Емкость такой системы равна 89 пФ . Определить толщину стекла в конденсаторе.

1.158. Конденсаторы емкостью $C_1 = 0,2 \text{ мкФ}$, $C_2 = 0,6 \text{ мкФ}$, $C_3 = 0,3 \text{ мкФ}$ и $C_4 = 0,5 \text{ мкФ}$ соединены так, как показано на рисунке 1.1. Определите емкость такой системы.

1.159. Конденсаторы емкостью $C_1 = 10 \text{ нФ}$, $C_2 = 40 \text{ нФ}$, $C_3 = 2 \text{ нФ}$ и $C_4 = 30 \text{ нФ}$ соединены так, как показано на рисунке 1.2. Определите емкость такой системы.

1.160. Определить емкость системы, представленной на рисунке 1.3: пространство между квадратными обкладками конденсаторов, длина которых l , а расстояние между ними d , заполнено диэлектриками с относительными диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 .

1.161. В плоском конденсаторе, заряженном до разности потенциалов $U = 600 \text{ В}$, расстояние между пластинами равно $d = 4 \text{ мм}$ и оно наполовину заполнено слюдой. Определить напряженность электрического поля в диэлектрике и в вакууме для двух случаев: а) граница диэлектрика параллельна заряженным пластинам; б) граница диэлектрика перпендикулярна к заряженным пластинам. Чему равна емкость конденсатора в обоих случаях?

1.162. Три конденсатора с емкостями $C_1 = 2 \text{ мкФ}$, $C_2 = 2 \text{ мкФ}$, $C_3 = 4 \text{ мкФ}$ и допустимыми напряжениями $U_1 = 1000 \text{ В}$, $U_2 = 450 \text{ В}$, $U_3 = 250 \text{ В}$ соединены в батарею. При каком соединении конденсаторов можно получить наибольшее напряжение? Чему равно это напряжение и соответствующая емкость батареи?

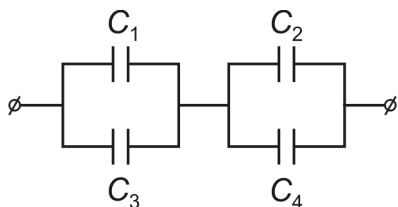


Рис. 1.1

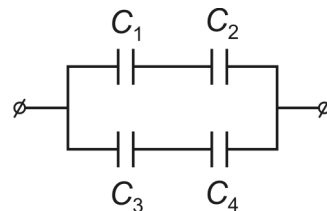


Рис. 1.2

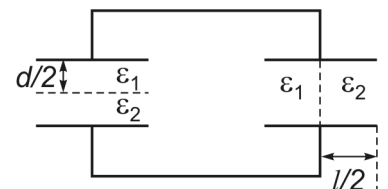


Рис. 1.3

Энергия электростатического поля

1.163. Шар заряжен до потенциала 100 В, накопленная им энергия равна 2,0 мкДж. Чему равен заряд шара?

1.164. Определить энергию сферы, радиус которой равен 4,0 см, а потенциал — 500 В.

1.165. Определить энергию металлического шара, диаметр которого равен 20 см, а его заряд 100 нКл.

1.166. Определить потенциальную энергию системы двух точечных зарядов 100 нКл и 10 нКл, находящихся на расстоянии 0,1 м друг от друга.

1.167. Определить потенциальную энергию системы трех точечных зарядов 10 нКл, 20 нКл и -30 нКл, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см.

1.168. Точечные заряды 1,0 мкКл каждый расположены в вершинах квадрата со стороной 5,0 мм. Определить потенциальную энергию этой системы зарядов.

1.169. Какое количество теплоты выделится при заземлении заряженного до 3000 В шара, радиус которого равен 5,0 см?

1.170. Электрическое поле создано заряженной сферой радиусом $R_1 = 10$ см и зарядом $q = 100$ нКл. Сфера находится внутри концентрической сферической оболочки, радиус которой в два раза больше радиуса сферы. Чему равна энергия электрического поля между сферой и оболочкой?

1.171. Металлический шар радиусом $R_1 = 3$ см имеет заряд $q = 20$ мкКл. Шар окружен слоем парафина толщиной $d = 2,0$ см. Определить энергию электрического поля в слое диэлектрика.

1.172. Сплошной парафиновый шар радиусом $R = 10$ см заряжен равномерно с объемной плотностью заряда $\rho = 10$ мкКл/м³. Определить энергию электрического поля в самом шаре и вне его.

1.173. Тысяча одинаковых наэлектризованных дождевых капелек сливается в одну каплю, причем их общий заряд сохраняется. Как изменится общая энергия капелек, если считать, что капельки являются сферическими и находятся на большом расстоянии между собой?

1.174. Два изолированных шарика, радиусы которых равны $r_1 = 3,0$ см и $r_2 = 5,0$ см, заряжены до потенциалов $\varphi_1 = 300$ В и $\varphi_2 = 500$ В соответственно. Затем их соединили тонким проводником. Чему равно изменение энергии системы?

1.175. Конденсатору, емкость которого равна 10 пФ, сообщили заряд 1 пКл. Определить энергию конденсатора.

1.176. Расстояние между пластинами плоского конденсатора равно 2 см, разность потенциалов между ними 6 кВ. Заряд каждой из пластин равен ± 10 нКл. Определить энергию поля конденсатора и силу взаимного притяжения пластин.

1.177. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора равна 15 кВ, расстояние между ними 1,0 мм, площадь каждой пластины 300 см^2 , а диэлектрик — слюда ($\varepsilon = 6$). Какое количество теплоты выделится при разрядке такого конденсатора?

1.178. Плоский конденсатор заряжен до разности потенциалов 1 кВ. Расстояние между пластинами равно 1 см. Диэлектрик — стекло ($\varepsilon = 7$). Определить объемную плотность энергии поля конденсатора.

1.179. Сила притяжения между пластинами плоского воздушного конденсатора равна 50 мН, а площадь каждой пластины равна 200 см^2 . Определить плотность энергии электрического поля конденсатора.

1.180. Между обкладками заряженного плоского конденсатора вводится пластинка из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε . Какие изменения произойдут с зарядом конденсатора, разностью потенциалов на его обкладках, напряженностью электрического поля в диэлектрике, накопленной энергией, если: а) конденсатор отключен от источника тока; б) конденсатор подключен к источнику тока?

1.181. Плоский воздушный конденсатор емкостью 1,11 пФ заряжен до разности потенциалов 300 В. После отключения конденсатора от источника напряжения расстояние между пластинами конденсатора было увеличено в пять раз. Определить разность потенциалов между пластинами после увеличения расстояния и работу внешних сил по перемещению пластин.

1.182. Как изменится энергия плоского воздушного конденсатора при изменении расстояния между пластинами: а) если перед изменением расстояния конденсатор заранее отключить от источника тока; б) если при изменении расстояния конденсатор останется подключенным к источнику тока?

1.183. Плоский воздушный конденсатор с площадью пластин, равной $S = 500 \text{ см}^2$, подключили к источнику напряжения $U = 300 \text{ В}$. Определить работу внешних сил по перемещению пластин с расстояния $d_1 = 1 \text{ см}$ до расстояния $d_2 = 3 \text{ см}$ в двух случаях: а) пластины перед перемещением отключаются от источника тока; б) пластины в процессе перемещения остаются подключенными к источнику тока.

1.184. Между пластинами плоского конденсатора, площадь которых равна $S = 500 \text{ см}^2$, находится металлическая пластинка толщиной $d_1 = 10 \text{ мм}$. Расстояние между пластинами конденсатора $d = 50 \text{ мм}$. Какую работу необходимо совершить, чтобы достать пластину из конденсатора, если он подключен к источнику напряжения $U = 100 \text{ В}$?

1.185. Пространство между пластинами плоского конденсатора объемом $V = 20 \text{ см}^3$ заполнено диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого равна $\varepsilon = 5$. Пластины конденсатора подключены к источнику напряжения, при этом поверхностная плотность связанных зарядов на диэлектрике равна $\sigma_1 = 8,35 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2$. Какую работу необходимо совершить против сил электрического поля, чтобы извлечь диэлектрик из конденсатора? Задачу решить для

двух случаев: а) удаление диэлектрика происходит при включенном источнике напряжения; б) удаление диэлектрика происходит после отключения источника напряжения.

1.186. Между пластинами плоского конденсатора находится диэлектрик с относительной диэлектрической проницаемостью, равной $\varepsilon = 2$. При подключении конденсатора к источнику напряжения давление пластин на диэлектрик стало равно $P = 5,0$ Па. Определить напряженность электрического поля и электрическое смещение в диэлектрике, поверхностную плотность зарядов на пластинах конденсатора, объемную плотность энергии электрического поля в диэлектрике.

1.187. Конденсатор емкостью $C_1 = 666$ пФ зарядили до разности потенциалов $U = 1,5$ кВ и отключили от источника напряжения. Затем к конденсатору присоединили другой незаряженный конденсатор емкостью $C_2 = 444$ пФ. Определить величину энергии, которая выделяется в проводах, соединяющих конденсаторы. Зависит ли эта энергия от сопротивления проводов?

1.188. Конденсаторы, емкость которых 1 мкФ, 2 мкФ и 3 мкФ подключены к источнику с напряжением 1,1 кВ. Определить энергию каждого конденсатора, если они соединены: а) последовательно; б) параллельно.

1.189. Два конденсатора, емкости которых равны $C_1 = 60$ пФ и $C_2 = 1000$ пФ, соединены последовательно. Систему конденсаторов заряжают до разности потенциалов $U = 20$ кВ. Затем конденсаторы отключают от источника тока и, не разряжая, соединяют параллельно. Как изменится энергия системы конденсаторов?

1.190. Два одинаковых воздушных конденсатора емкостью $C = 800$ пФ каждый заряжены до разности потенциалов $U = 200$ В. Один из конденсаторов в заряженном состоянии помещают в жидкий диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной $\varepsilon = 2$, после чего конденсаторы соединяют параллельно. Определить работу разряда конденсаторов.

Раздел 2

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Основные законы и формулы

Среднее значение силы тока в проводнике $\langle I \rangle = \Delta q / \Delta t$, где Δq — заряд, переносимый через поперечное сечение проводника за промежуток времени Δt .

Мгновенное значение силы тока равно первой производной от заряда по времени, т. е.

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

ЭДС источника тока

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q},$$

где $A_{\text{ст}}$ — работа сторонних сил по перемещению положительного заряда q вдоль замкнутой цепи.

Напряжение на участке цепи AB

$$U = (\varphi_1 - \varphi_2) \pm \mathcal{E},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ — разность потенциалов начальной и конечной точек участка цепи, \mathcal{E} — ЭДС источников тока, находящихся на этом участке.

Если концентрация свободных электронов в металлическом проводнике площадью поперечного сечения S равна n , а средняя скорость их упорядоченного движения $\langle v \rangle$, то сила тока

$$I = en\langle v \rangle S, \text{ или } I = enbES,$$

где e — модуль заряда электрона, b — подвижность электронов. Подвижностью электронов или других носителей тока b называется отношение средней скорости их упорядоченного движения к напряженности электрического поля E в проводнике с током, т. е. $b = \langle v \rangle / E$.

Сопротивление однородного проводника длиной l и площадью поперечного сечения S

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ — удельное сопротивление вещества проводника. Причем

$$\rho = \frac{1}{enb} = \frac{1}{\sigma},$$

где σ — удельная электропроводность металлического проводника.

Сопротивление R и удельное сопротивление ρ металлического проводника при температуре T связаны с соответствующими величинами R_0 и ρ_0 при температуре $T_0 = 273$ К соотношениями

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T), \quad \rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T),$$

где $\alpha = \frac{R - R_0}{R_0\Delta T}$ — температурный коэффициент сопротивления, $\Delta T = T - T_0$.

Электропроводность полупроводников

$$\sigma = n_1 e b_1 + n_2 e b_2,$$

где n_1 и n_2 — концентрации, а b_1 и b_2 — подвижности электронов и дырок соответственно.

Сопротивление полупроводников

$$R = A e^{\frac{\Delta E}{2kT}},$$

где ΔE — энергия активации (ширина запрещенной зоны).

Температурный коэффициент сопротивления полупроводников при температуре T

$$\alpha = -\frac{\Delta E}{2k} \cdot \frac{1}{T^2}.$$

Если на участке цепи, сопротивление которого R , нет источников сторонних сил, то

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}.$$

Если участок цепи содержит источник тока, то

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \mathcal{E}}{R + r},$$

где r — внутреннее сопротивление источника.

Общее сопротивление при последовательном соединении резисторов

$$R = \sum_{i=1}^n R_i,$$

где R_i — сопротивление i -го резистора.

При параллельном соединении резисторов общее сопротивление удовлетворяет соотношению

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}.$$

Закон Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

где I — сила тока в цепи, \mathcal{E} — ЭДС источника тока, r — его внутреннее сопротивление, R — сопротивление внешнего участка цепи.

В режиме короткого замыкания $R \rightarrow 0$, т. е. $I_{\text{к.з.}} = \mathcal{E}/r$.

Сила тока в цепи при последовательном соединении источников тока

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i}{R + \sum_{i=1}^n r_i}.$$

Если источники одинаковы, то при их последовательном соединении

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = n\mathcal{E}_1, \quad \sum_{i=1}^n r_i = nr_1,$$

поэтому

$$I = \frac{n\mathcal{E}_1}{R + nr_1},$$

где \mathcal{E}_1 и r_1 — ЭДС и внутреннее сопротивление одного из источников тока.

При параллельном соединении источников тока внутреннее сопротивление r и ЭДС батареи \mathcal{E} рассчитываются по формулам

$$\frac{1}{r} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}, \quad \mathcal{E} = \sum_{i=1}^n \frac{\mathcal{E}_i}{r_i}.$$

При параллельном соединении одинаковых источников тока

$$r = \frac{r_1}{n}, \quad \mathcal{E} = \mathcal{E}_1,$$

а сила тока в цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}_1}{R + \frac{r_1}{n}}.$$

Работа и мощность постоянного тока рассчитываются по формулам

$$A = IU\Delta t, \quad P = IU.$$

Согласно закону Джоуля — Ленца количество теплоты, которое выделяется в проводнике сопротивлением R за промежуток времени Δt ,

$$Q = I^2 R \Delta t,$$

где I — сила тока в проводнике.

Совершение работы стационарным электрическим полем, которое создает постоянный ток (работа тока), может сопровождаться изменением механической и внутренней энергий системы, химическими превращениями и электромагнитным излучением. Поэтому при движении зарядов по замкнутой цепи за счет энергии источника тока может происходить нагревание проводников, совершается механическая работа, осуществляются химические реакции, сопутствующие току в электролитах.

Полная мощность, развиваемая источником тока в замкнутой цепи,

$$P = I\varepsilon = P_{\text{тепл}} + P_{\text{мех}} + P_{\text{хим}} + P_{\text{изл}},$$

причем тепловая мощность $P_{\text{тепл}} = I^2(R + r)$.

Мощность на внешнем участке цепи $P_1 = IU = I\varepsilon - I^2r$.

КПД источника тока

$$\eta = \frac{P_1}{P} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R}{R + r}.$$

Удельная проводимость электролита определяется формулой

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \alpha n z e (b_+ + b_-),$$

где b_+ и b_- — подвижности положительных и отрицательных ионов.

Законы Фарадея для электролиза формулируются следующим образом:

1. Масса m вещества, выделившегося на электроде, пропорциональна заряду q , прошедшему через электролит:

$$m = kq = kI\Delta t,$$

где k — электрохимический эквивалент вещества.

2. Электрохимические эквиваленты веществ пропорциональны их химическим эквивалентам, т. е.

$$k = \frac{1}{F} \frac{M}{n},$$

где F — постоянная Фарадея, M — молярная масса иона, n — валентность иона, M/n — его химический эквивалент.

Объединенный закон электролиза:

$$m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} I \Delta t.$$

При прохождении электрического тока через электролит имеет место поляризация электродов, в результате которой возникает ЭДС поляризации ε_p , направленная против ЭДС источника. В этом случае при решении задач, кроме законов электролиза, необходимо использовать закон Ома для неоднородного участка цепи, согласно которому

$$I = \frac{U - \varepsilon_p}{R}.$$

Энергия ионизации атомов или молекул газа W_i определяется из формулы

$$\frac{mv^2}{2} \geq W_i,$$

где m — масса частицы, вызывающей ионизацию; v — ее скорость.

При небольших плотностях тока, текущего в газе, имеет место закон Ома

$$j = qn \langle v \rangle = qn (b_+ + b_-) E = \sigma E.$$

Работа выхода электрона из металла

$$A = e\Delta\varphi,$$

где $\Delta\varphi$ — разность потенциалов на границе металл — вакуум.

Плотность тока насыщения при термоэлектронной эмиссии определяется формулой

$$j = BT^2 \exp\left(-\frac{e\Delta\varphi}{kT}\right),$$

где постоянная $B = 1,2 \cdot 10^6 \text{ A/m}^2 \cdot \text{K}^2$.

Для вакуумного диода с металлическим катодом зависимость между силой тока и напряжением имеет вид:

$$I = \kappa U^{\frac{3}{2}},$$

где κ — некоторая постоянная, значение которой зависит от конструктивных особенностей диода.

Закон Ома

2.1. Какой заряд пройдет через провода, соединяющие обкладки плоского конденсатора с клеммами источника тока с ЭДС 6 В, при извлечении конденсатора из керосина, в который он был помещен? Площадь пластин конденсатора равна 270 см^2 , расстояние между ними 2 мм.

2.2. Плоский конденсатор с пластинами квадратной формы размерами $21 \times 21 \text{ см}^2$ и расстоянием между ними 2 мм присоединен к источнику тока с ЭДС 750 В. В пространство между пластинами конденсатора вводится стеклянная пластинка толщиной 2 мм со скоростью 8 см/с. Какой ток будет протекать по цепи?

2.3. На конденсатор переменной емкости подано напряжение 100 В. Какой силы протечет ток по проводам, если емкость конденсатора равномерно изменяется со скоростью 10 нФ/с?

2.4. Сила тока в проводнике равномерно возрастает от 0 до 3 А на протяжении 10 с. Вычислить заряд, который прошел по проводнику.

2.5. Определить заряд, который прошел по проводнику сопротивлением 3 Ом при равномерном возрастании напряжения на концах проводника от 2 В до 4 В на протяжении 20 с.

2.6. Ток в цепи уменьшается от 18 А до нуля, причем за каждые 0,01 с он уменьшается в два раза. Какой заряд пройдет через проводник за время уменьшения тока?

2.7. Вычислить сопротивление катушки из медной проволоки, если площадь поперечного сечения проволоки 1 мм^2 , а масса проволоки 300 г. Плотность меди — $8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

2.8. Из никелевой проволоки толщиной 0,2 мм и шириной 3 мм необходимо изготовить реостат на 2,5 Ом. Какой длины необходимо взять проволоку и какое

максимальное напряжение можно подать на этот реостат, если допустимая плотность тока для никеля $0,2 \text{ А/мм}^2$?

2.9. Какое напряжение можно приложить к катушке, которая имеет 1000 витков медной проволоки со средним диаметром витков 6 см, если допустимая плотность тока для меди равна 2 А/мм^2 ?

2.10. Сопротивление единицы длины медной проволоки равно $2,23 \text{ Ом/м}$. Диаметр проволоки равен $0,1 \text{ мм}$. Вычислить удельное сопротивление меди.

2.11. Удельное сопротивление графитового стержня от карандаша равно $4 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$. Длина стержня равна 20 см , его диаметр равен 2 мм . Какой ток будет протекать по стержню, если на него подать напряжение 6 В ?

2.12. Вычислить сопротивление графитового проводника, имеющего форму прямого усеченного конуса, высота которого равна 20 см , а радиусы его оснований равны 8 мм и 2 мм .

2.13. При включении в электрическую цепь проводника длиной 47 мм и диаметром $0,5 \text{ мм}$ при напряжении $1,2 \text{ В}$ по проводнику будет протекать ток 1 А . Вычислить удельное сопротивление проводника.

2.14. Сколько витков нихромовой проволоки диаметром 1 мм необходимо накрутить на фарфоровый цилиндр радиусом $2,5 \text{ см}$, чтобы получить реостат сопротивлением 400 Ом ?

2.15. Сопротивление медной проволоки в два раза больше, чем алюминиевой, а вес — в четыре раза меньше. Вычислить, какая проволока длиннее и во сколько раз. Плотность меди равна $8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, алюминия — $2,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

2.16. Напряжение на шинах электростанции равно $6,6 \text{ кВ}$. Потребитель находится на расстоянии 10 км от электростанции. Вычислить площадь поперечного сечения медной проволоки для двухпроводной линии передачи, если сила тока в линии равна 20 А , а потери напряжения в проводах не должны превышать 3% .

2.17. Какое количество лампочек, рассчитанных на напряжение $6,3 \text{ В}$, необходимо взять для елочной гирлянды, чтобы ее можно было включить в осветительную сеть напряжением 220 В ?

2.18. Дуговой фонарь, который требует для своего питания напряжение 40 В и силу тока 10 А , включен в сеть напряжением 120 В через реостат, изготовленный из константовой проволоки сечением 2 мм^2 . Определить сопротивление реостата и длину проволоки, необходимую для ее изготовления.

2.19. В цепь с напряжением 120 В включены два резистора. При их последовательном соединении ток в цепи равен 3 А , а при параллельном — суммарный ток равен 16 А . Чему равны сопротивления резисторов?

2.20. При последовательном соединении двух резисторов сила тока в $6,25$ раз меньше, чем при их параллельном соединении. Во сколько раз отличаются сопротивления резисторов?

2.21. Электрическая цепь состоит из четырех проводников одинаковой длины из одинакового материала, которые соединены последовательно. Сечения проводников равны 1 мм^2 , 2 мм^2 , 3 мм^2 и 4 мм^2 . Разность потенциалов на концах цепи равна 100 В . Вычислить напряжение на каждом проводнике.

2.22. Электрическая цепь состоит из трех проводников одинаковой длины из одинакового материала. Проводник сечением 3 мм^2 соединен с параллельно соединенными проводниками сечениями 2 мм^2 и 3 мм^2 . Разность потенциалов на концах цепи равна 12 В . Сила тока, который протекает по первому проводнику, равна 1 А . Вычислить сопротивление каждого проводника, силу тока, который протекает через каждый проводник, и напряжение на каждом из них.

2.23. Вычислить сопротивление резистора R , если амперметр показывает ток 5 А , а вольтметр напряжение 100 В . Сопротивление вольтметра равно 25 кОм . Какая будет погрешность при измерении сопротивления резистора, если при расчетах не учитывать ток через вольтметр?

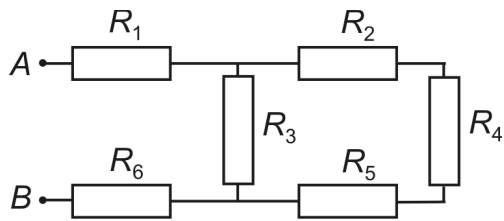


Рис. 2.1

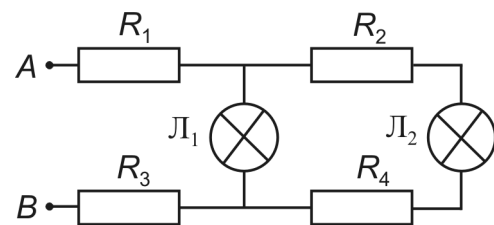


Рис. 2.2

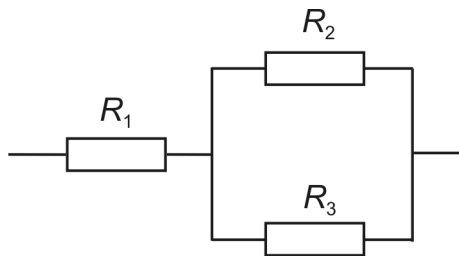


Рис. 2.3

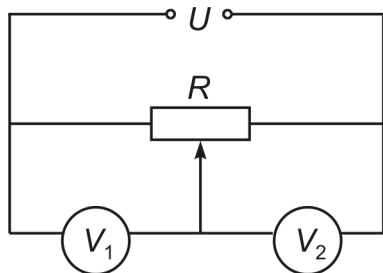


Рис. 2.4

2.24. На сколько одинаковых частей необходимо разрезать проводник, сопротивление которого равно 36 Ом , чтобы сопротивление его частей, соединенных параллельно, было равным 1 Ом ?

2.25. Как необходимо соединить четыре проводника, сопротивления которых равны 1 Ом , 2 Ом , 3 Ом и 4 Ом , чтобы получить сопротивление $2,5 \text{ Ом}$?

2.26. Внутренне сопротивление гальванометра равно 680 Ом . Как и какое сопротивление необходимо присоединить к гальванометру, чтобы им можно было измерять ток $2,5 \text{ А}$? Шкала гальванометра рассчитана на 300 мкА .

2.27. Вычислить общее сопротивление цепи (рис. 2.1), состоящей из резисторов, сопротивления которых равны $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 1 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 8 \text{ Ом}$.

2.28. К источнику напряжения 12 В (рис. 2.2) присоединены резисторы, сопротивления которых $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1,5 \text{ Ом}$, две лампочки сопротивлением 36 Ом каждая. Вычислить напряжение на лампочках.

2.29. Резисторы, сопротивления которых $R_1 = 60 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 30 \text{ Ом}$, соединены так, как показано на схеме (рис. 2.3). К цепи приложено напряжение 200 В . Вычислить напряжение на резисторе R_2 .

2.30. Цепь (рис. 2.4) состоит из источника напряжения 180 В и потенциометра с полным сопротивлением 5 кОм . Определить показания вольтметров, если их сопротивления равны

$r_1 = 6$ кОм и $r_2 = 4$ кОм. Ползунок стоит посередине потенциометра.

2.31. Внутреннее сопротивление гальванометра равно 720 Ом, а шкала его рассчитана на 300 мкА. Как и какое сопротивление необходимо присоединить к гальванометру, чтобы им можно было измерять напряжение 300 В?

2.32. Вольтметр рассчитан на измерение напряжения до 30 В. При этом через него идет ток 10 мА. Какое добавочное сопротивление надо присоединить к вольтметру, чтобы им можно было измерять напряжение 150 В?

2.33. Имеется прибор с ценой деления 1 мкА/дел, количество делений на шкале равно 100. Сопротивление прибора 50 Ом. Как этот прибор приспособить для измерения токов до 10 мА и напряжений до 1 В?

2.34. Миллиамперметр с пределом измерения 25 мА необходимо использовать как амперметр с пределом измерения 5 А. Какое сопротивление должен иметь шунт? Во сколько раз изменится чувствительность прибора? Сопротивление миллиамперметра равно 50 Ом.

2.35. Вольтметр имеет четыре границы измерений: 3 В, 15 В, 75 В и 150 В. Номинальный ток прибора равен 30 мА, его внутреннее сопротивление равно 10 Ом. Вычислить его добавочные сопротивления.

2.36. Если к амперметру, который рассчитан на максимальную силу тока 2 А, присоединить шунт сопротивлением 0,5 Ом, то цена деления шкалы амперметра возрастет в 10 раз. Определить, какое добавочное сопротивление необходимо присоединить к тому же амперметру, чтобы его можно было использовать для измерения напряжения до 220 В.

2.37. Вычислить разность потенциалов между точками *a* и *б* в схеме (рис. 2.5), если $\mathcal{E}_1 = 1$ В, $\mathcal{E}_2 = 1,3$ В, а $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом.

2.38. Два источника тока с ЭДС 1,5 В и 2 В и внутренними сопротивлениями 0,6 Ом и 0,4 Ом соединены так, как показано на рисунке 2.6. Какую разность потенциалов покажет вольтметр, если его сопротивление значительно больше внутренних сопротивлений источников тока?

2.39. Два элемента с ЭДС 1,4 В и 1,1 В и внутренними сопротивлениями 0,3 Ом и 0,2 Ом соединены так, как показано на рисунке 2.7. Вычислить разность потенциалов на клеммах элементов. При каких условиях разность потенциалов между точками *a* и *б* равна нулю?

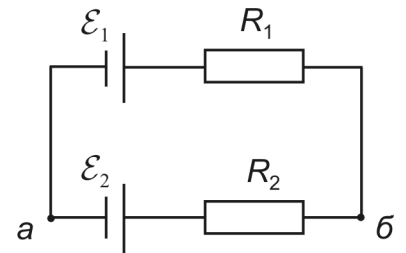


Рис. 2.5

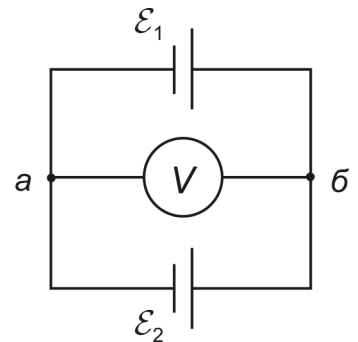


Рис. 2.6

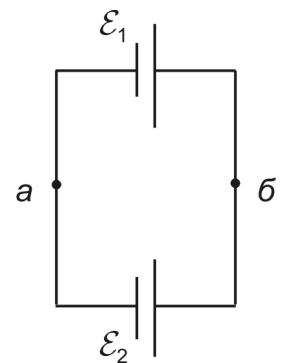


Рис. 2.7

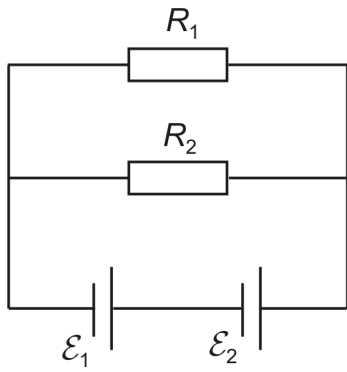


Рис. 2.8

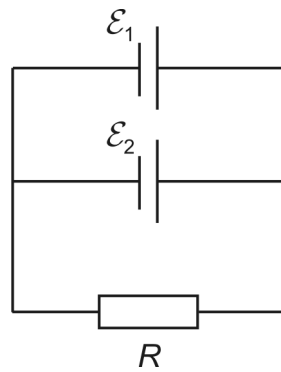


Рис. 2.9

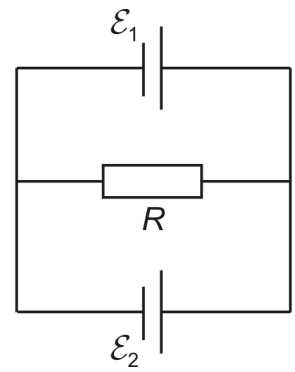


Рис. 2.10

2.40. Вычислить внутреннее сопротивление первого источника тока (рис. 2.8), если напряжение на его клеммах равно нулю. Сопротивления резисторов 3 Ом и 6 Ом, внутреннее сопротивление второго источника тока 0,4 Ом, ЭДС источников одинаковая.

2.41. Три элемента с ЭДС 2,2 В, 1,1 В и 0,9 В и внутренними сопротивлениями 0,2 Ом, 0,4 Ом и 0,5 Ом включены в цепь последовательно. Внешнее сопротивление цепи 1 Ом. Вычислить напряжение на клеммах каждого элемента.

2.42. Сколько одинаковых аккумуляторов с ЭДС 1,25 В и внутренним сопротивлением 0,004 Ом необходимо взять, чтобы сложить батарею, которая бы давала на клеммах напряжение 115 В при токе 25 А?

2.43. Два элемента с ЭДС 1,25 В и 1,5 В и одинаковыми внутренними сопротивлениями 0,4 Ом соединены параллельно (рис. 2.9). Сопротивление резистора 10 Ом. Вычислить токи, которые протекают через резистор и каждый элемент.

2.44. Два элемента с ЭДС 6 В и 5 В и внутренними сопротивлениями 1 Ом и 2 Ом соединены по схеме, как показано на рисунке 2.10. Вычислить ток, который протекает через резистор, сопротивление которого 10 Ом.

2.45. Три одинаковых элемента с ЭДС 1,6 В и внутренним сопротивлением 0,8 Ом включены в цепь по схеме, как показано на рисунке 2.11. Сопротивления

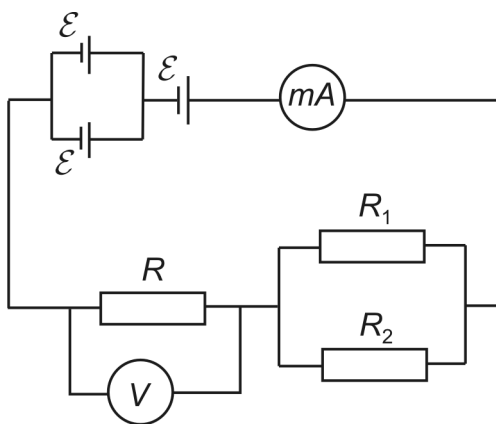


Рис. 2.11

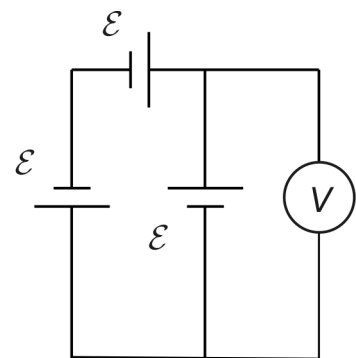


Рис. 2.12

резисторов $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 15 \text{ Ом}$, а R — неизвестно. Ток в цепи 100 мА . Что покажет вольтметр? Сопротивление вольтметра очень большое, миллиамперметра — очень маленькое.

2.46. Три источника тока с ЭДС 1 В , 2 В и 3 В и внутренними сопротивлениями 1 Ом , 2 Ом и 3 Ом соединены последовательно и коротко замкнуты. Вычислить силу тока в цепи и падение напряжения на каждом источнике. Чему равна сила тока и падение напряжения, если все три источника имеют одинаковую ЭДС 2 В ?

2.47. Три одинаковых источника тока с одинаковыми ЭДС и внутренними сопротивлениями соединены так, как показано на схеме (рис. 2.12). Какое напряжение покажет вольтметр?

2.48. Три одинаковых источника тока с внутренним сопротивлением $0,6 \text{ Ом}$ соединили один раз последовательно, а второй — параллельно и замкнули на какое-то внешнее сопротивление. При этом сила тока в двух случаях была одинаковая. Вычислить внешнее сопротивление.

2.49. Как изменится ток, который протекает через резистор сопротивлением 2 Ом , если 10 одинаковых элементов, соединенных последовательно с этим резистором, включить параллельно ему? ЭДС элемента 2 В , его внутреннее сопротивление $0,2 \text{ Ом}$.

2.50. Батарея из 4 одинаковых элементов с внутренними сопротивлениями 2 Ом , которые соединяются в одном случае последовательно, а во втором — параллельно, присоединяется к внешнему резистору сопротивлением 10 Ом . Во сколько раз показания вольтметра, присоединенного к резистору, в первом случае будут отличаться от второго случая? Сопротивление вольтметра достаточно большое в сравнении с сопротивлением резистора и внутренним сопротивлением элемента.

2.51. Даны 12 элементов с ЭДС $1,5 \text{ В}$ и внутренним сопротивлением $0,4 \text{ Ом}$. Как необходимо соединить эти элементы, чтобы от полученной батареи получить наибольшую силу тока во внешней цепи, которая имеет сопротивление 3 Ом ? Вычислить максимальную силу тока.

2.52. Сравнить токи короткого замыкания для случаев, когда n одинаковых элементов соединены параллельно и последовательно.

Работа и мощность в цепи постоянного тока. Закон Джоуля — Ленца. Правила Кирхгофа

2.53. За 10 с через проводник при напряжении на нем 12 В прошел заряд 24 Кл . Вычислить работу электрического тока, его мощность и сопротивление проводника.

2.54. Двигатель электрокара работает от аккумуляторной батареи, напряжение которой 80 В и емкость $150 \text{ А}\cdot\text{час}$. Потребляемая мощность электрокара 2 кВт . На какое время работы электрокара хватит энергии батареи?

2.55. На баллоне электрической лампы написано: 220 В, 60 Вт. Чему равны сопротивление лампы и сила тока и в рабочем режиме?

2.56. Имеется пять электрических ламп на 110 В с мощностью 40, 40, 40, 60 и 60 Вт. Как необходимо включить их в сеть с напряжением 220 В, чтобы они все горели нормальным накалом?

2.57. Две лампы сопротивлением 180 Ом и 360 Ом подсоединены параллельно к сети напряжением 120 В. Какая мощность выделяется в каждой лампе? Какая будет выделяться мощность, если лампы соединить последовательно и подключить к той же сети?

2.58. Какое дополнительное сопротивление необходимо подсоединить к лампе мощностью $P = 300$ Вт, рассчитанной на напряжение $U = 110$ В, чтобы при напряжении $U_1 = 127$ В она работала в нормальном режиме?

2.59. Какое напряжение необходимо поддерживать в сети и какая мощность должна потребляться, чтобы питать током 30 ламп по 60 Вт, соединенных параллельно, при напряжении 127 В, если сопротивление проводов, которые подводят ток к лампам, равно 4 Ом? Чему равен КПД электросети?

2.60. Мощность, которая выделяется на резисторе, присоединенном к источнику тока с ЭДС 3 В и внутренним сопротивлением 1 Ом, равна 2 Вт. Определить силу тока в цепи.

2.61. ЭДС источника тока 2 В, внутреннее сопротивление 1 Ом. Определить сопротивление внешнего участка цепи, если в нем выделяется мощность 0,75 Вт.

2.62. Лампа и резистор соединены последовательно и подсоединены к источнику тока. Напряжение на лампе равно 40 В. Сопротивление резистора равно 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность 120 Вт. Вычислить силу тока в цепи.

2.63. Мощность электрической плитки 300 Вт. Ее перегоревшую спираль уменьшили на $1/4$ длины. Какая стала при этом мощность плитки?

2.64. В цепь постоянного тока с напряжением 110 В включен электродвигатель, сопротивление обмотки которого 2 Ом и который потребляет ток силой 8 А. Вычислить мощность, которую потребляет двигатель, а также его механическую мощность и КПД.

2.65. Электродвигатель, сопротивление обмотки которого 4 Ом, подключен к электрической цепи с напряжением 220 В. Он развивает механическую мощность 3 кВт. Вычислить силу тока, которую потребляет двигатель.

2.66. Электродвигатель питается от сети с напряжением 24 В. Чему равна его механическая мощность при протекании по обмотке тока силой 8 А, если известно, что при полном торможении якоря в цепи идет ток 16 А?

2.67. При силе тока $I_1 = 10$ А электродвигатель развивает мощность $P_1 = 0,5$ кВт, а при силе $I_2 = 20$ А — мощность $P_2 = 0,8$ кВт. Вычислить КПД двигателя при данных значениях тока. Какой силы ток будет в обмотке якоря при его торможении?

2.68. Трамвай массой 22,5 т движется горизонтально со скоростью 36 км/ч. Коэффициент трения 0,01, напряжение в линии 500 В, КПД двигателя и передачи 75 %. Вычислить силу тока, которая проходит через обмотку двигателя.

2.69. Электродвигатель подъемного крана работает под напряжением $U = 380$ В и потребляет ток силой $I = 20$ А. Вычислить сопротивление обмотки двигателя и КПД установки, если груз массой $m = 1$ т кран поднимает на высоту $h = 19$ м за $t = 50$ с.

2.70. Электродвигатель, сопротивление обмотки якоря которого r , подключен к сети с напряжением U . Построить график зависимости от тока в цепи мощности, которую потребляет двигатель; механической мощности; мощности, которая тратится на нагревание; КПД двигателя. При какой силе тока двигатель развивает максимальную механическую мощность?

2.71. ЭДС батареи аккумуляторов 12 В, сила тока короткого замыкания 5 А. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи, соединенной с такой батареей?

2.72. Вычислить силу тока короткого замыкания источника, если при силе тока $I_1 = 2$ А во внешней цепи выделяется мощность $P_1 = 24$ Вт, а при силе тока $I_2 = 5$ А — мощность $P_2 = 30$ Вт. На основе приведенных данных вычислить максимальную мощность, которая может выделяться во внешней цепи.

2.73. Максимальная мощность во внешней цепи равна 12 Вт при силе тока 2 А. Вычислить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

2.74. Батарея состоит из трех последовательно соединенных источников тока с ЭДС $\mathcal{E}_0 = 2$ В и внутренним сопротивлением $r_0 = 3$ Ом каждый. Чему равна максимальная мощность, которая выделяется на внешнем участке цепи такой батареи? Какую максимальную мощность во внешней цепи можно получить, если соединить источники параллельно?

2.75. К источнику тока с внутренним сопротивлением 1 Ом присоединяются два резистора сопротивлениями 0,5 Ом каждый. Один раз резисторы соединяются последовательно, второй — параллельно. Вычислить соотношение мощностей, которые выделяются на внешнем участке цепи в этих случаях.

2.76. Батарея состоит из параллельно соединенных элементов с ЭДС $\mathcal{E} = 5,5$ В и внутренним сопротивлением $r = 5$ Ом. При токе 2 А во внешней цепи полезная мощность $P_n = 7$ Вт. Сколько элементов имеет батарея?

2.77. Нагреватель имеет сопротивление $R = 25$ Ом и питается от двух одинаковых аккумуляторов с внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом. Как лучше соединить аккумуляторы (последовательно или параллельно), чтобы получить в нагревателе большую мощность?

2.78. Вычислить КПД электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 2.13, если $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 5$ Ом и $r = 0,5$ Ом.

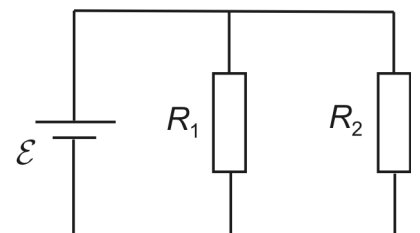


Рис. 2.13

2.79. Вычислить ток в цепи аккумулятора с ЭДС 2,2 В, если сопротивление внешнего участка цепи 0,5 Ом, а КПД цепи составляет 65 %.

2.80. Вычислить внутреннее сопротивление аккумулятора, если при замене внешнего сопротивления цепи с 3 Ом на 10,5 Ом его КПД увеличился в два раза.

2.81. При присоединении к источнику тока с ЭДС 15 В резистора сопротивлением 15 Ом КПД цепи равен 75 %. Какую максимальную мощность на внешнем участке цепи может выделить этот источник тока?

2.82. Построить графики зависимости мощности, которая выделяется на резисторе, от напряжения на нем при постоянном сопротивлении и от сопротивления при постоянном напряжении. Как необходимо изменить сопротивление, чтобы зависимость мощности от напряжения была линейной?

2.83. Источник тока с ЭДС \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r замкнут на реостат. Построить графики зависимости мощности источника тока, мощности на внешнем участке цепи и КПД от силы тока в цепи. При какой силе тока мощность на внешнем участке цепи будет максимальной?

2.84. Аккумулятор с ЭДС $\mathcal{E} = 8$ В и внутренним сопротивлением $r = 10$ Ом заряжается от зарядного устройства напряжением $U = 12$ В. Какая мощность выделяется внутри аккумулятора? Какую мощность получает аккумулятор от зарядного устройства?

2.85. При подзарядке аккумулятора с внутренним сопротивлением r от зарядного устройства с напряжением U ЭДС аккумулятора увеличивается. Построить график зависимости мощности, которую потребляет аккумулятор от зарядного устройства; мощности, которая тратится на подзарядку аккумулятора; мощности, которая тратится на тепло, и КПД зарядного устройства от величины ЭДС аккумулятора. При каком значении ЭДС мощность, которая тратится на зарядку, будет максимальной?

2.86. Аккумулятор заряжается от зарядного устройства напряжением $U = 15$ В. ЭДС аккумулятора $\mathcal{E} = 12$ В, его внутреннее сопротивление $r = 15$ Ом. Какая часть энергии, потребляемая от зарядного устройства, идет на подзарядку аккумулятора? Чему она равна?

2.87. На какое расстояние можно передавать электроэнергию от источника тока с ЭДС $\mathcal{E} = 5$ кВ так, чтобы на потребителе с сопротивлением $R = 1,6$ кОм выделялась мощность $P = 10$ кВт? Удельное сопротивление проводников линии $\rho = 17$ нОм·м, а сечение $S = 1$ мм².

2.88. При каком напряжении необходимо передавать электроэнергию на расстояние $l = 10$ км, чтобы при плотности тока $0,5$ А/мм² в стальных проводах двухпроводной линии электропередач потери составляли $\beta = 1$ % передаваемой мощности? Удельное сопротивление стали $0,12$ мкОм·м.

2.89. От источника тока с напряжением $U = 750$ В необходимо передать мощность 5 кВт на некоторое расстояние. Какое наибольшее сопротивление может иметь линия передачи, чтобы потери энергии в ней не превышали $\beta = 10$ % передаваемой мощности?

2.90. Под каким напряжением необходимо передавать электрическую энергию постоянного тока на расстояние $l = 5$ км, чтобы при плотности тока $j = 2,5 \cdot 10^5$ А/м² в медных проводах двухпроводной линии электропередач потери составляли 1 % от передаваемой мощности?

2.91. Вычислить силу тока (рис. 2.14) во всех ветвях мостика Уитстона при условии, что сила тока, который протекает через гальванометр, равна нулю. ЭДС источника тока 2 В, а $R_1 = 30$ Ом, $R_2 = 45$ Ом и $R_3 = 200$ Ом. Внутреннее сопротивление источника тока не учитывать.

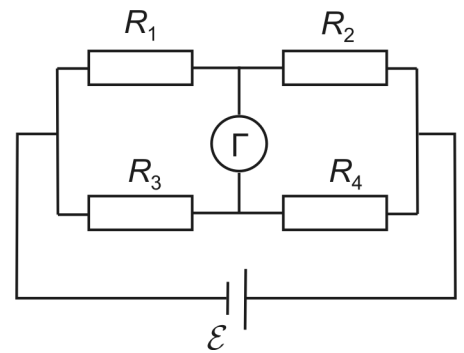


Рис. 2.14

2.92. В цепи мостика Уитстона (рис. 2.14) ток через гальванометр не проходит. Вычислить, чему равно сопротивление резистора R_4 , если $\varepsilon = 15$ В, $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 4$ Ом и $R_3 = 5$ Ом.

2.93. В приведенной схеме (рис. 2.15) $\varepsilon_1 = 2$ В, $\varepsilon_2 = 4$ В, $\varepsilon_3 = 6$ В, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом и $R_3 = 8$ Ом. Вычислить силу тока во всех участках цепи. Внутреннее сопротивление источников тока не учитывать.

2.94. По схеме к предыдущей задаче $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 12$ Ом, а напряжение на резисторе R_2 равно 6 В. Вычислить силу тока во всех участках цепи и величину сопротивления R_3 . Внутреннее сопротивление источников тока не учитывать.

2.95. На приведенной схеме (рис. 2.16) $\varepsilon_1 = 11$ В, $\varepsilon_2 = 4$ В, $\varepsilon_3 = 6$ В, $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 10$ Ом и $R_3 = 2$ Ом. Вычислить силу тока во всех участках цепи. Считать, что $r_1 = r_2 = r_3 = 0$.

2.96. На схеме (рис. 2.17) $\varepsilon_1 = 2,1$ В, $\varepsilon_2 = 1,9$ В, $R_1 = 45$ Ом, $R_2 = 10$ Ом и $R_3 = 10$ Ом. Вычислить силу тока во всех участках цепи. Считать, что $r_1 = r_2 = 0$.

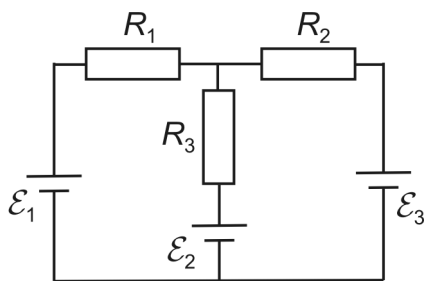


Рис. 2.15

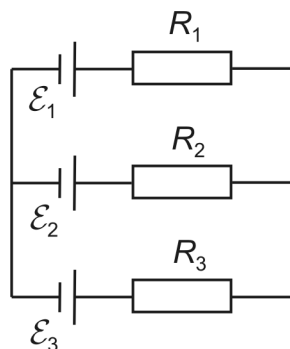


Рис. 2.16

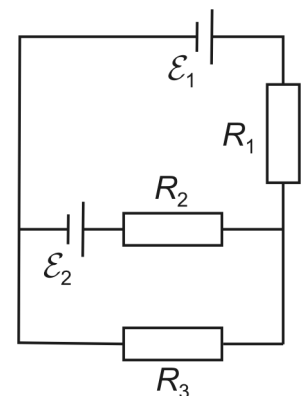


Рис. 2.17

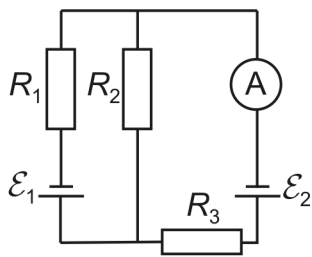


Рис. 2.18

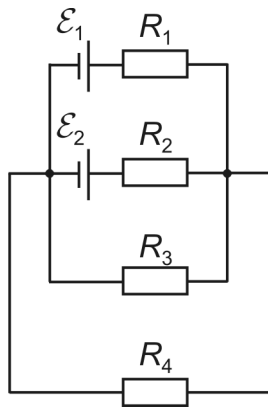


Рис. 2.19

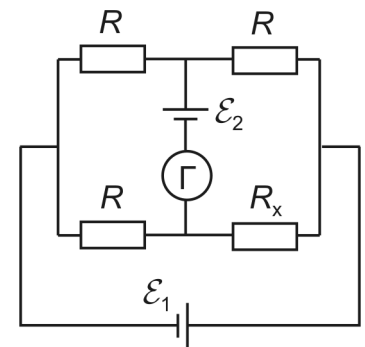


Рис. 2.20

2.97. На схеме (рис. 2.18) $\varepsilon_1 = 2$ В, $\varepsilon_2 = 1$ В, $R_1 = 1000$ Ом, $R_2 = 500$ Ом, $R_3 = 200$ Ом и $R_A = 200$ Ом. Какую величину тока показывает амперметр?

2.98. В приведенной схеме (рис. 2.19) $\varepsilon_1 = 10$ В, $\varepsilon_2 = 4$ В, $R_1 = R_4 = 2$ Ом, $R_2 = R_3 = 4$ Ом. Вычислить силы токов, которые протекают по резисторам R_2 и R_3 . Считать, что $r_1 = r_2 = 0$.

2.99. В цепи (рис. 2.20) ток через гальванометр не проходит. Вычислить, чему равно сопротивление резистора R_x , если $\varepsilon_1 = 15$ В, $\varepsilon_2 = 2,7$ В, $R = 9$ Ом, $r_1 = 2,8$ Ом.

Электропроводность твердых тел

2.100. Вычислить сопротивление медного проводника при температуре 100°C , если его масса 3 кг, а площадь поперечного сечения 1 мм². Плотность $d = 8900$ кг/м³, $\alpha = 0,004$ К⁻¹.

2.101. Вольфрамовая нить электролампы имеет длину 20 см и сопротивление 200 Ом при температуре 2500°C . Чему равен диаметр нити?

2.102. Для измерения температуры использована железная проволока, которая при температуре 10°C имела сопротивление 15 Ом. При некоторой температуре эта проволока имеет сопротивление $18,25$ Ом. Вычислить эту температуру.

2.103. При температуре 20°C сопротивление вольфрамовой нити равно 36 Ом. При включении лампы в цепь напряжением 220 В через нить идет ток $0,68$ А. Определить температуру вольфрамовой нити лампы в рабочем состоянии.

2.104. Вольфрамовая нить электрической лампы при температуре 2000°C имеет сопротивление 204 Ом. Определить ее сопротивление при 20°C .

2.105. До какой температуры нагреется нихромовая спираль электроплитки, если известно, что ток, который проходит через плитку в момент ее включения, в $1,09$ раз превышает рабочий ток?

2.106. Реостат из железной проволоки, миллиамперметр и источник тока соединены последовательно. При температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ сопротивление реостата равно $200\text{ }\Omega$. Сопротивление миллиамперметра равно $20\text{ }\Omega$, его показания 30 mA . Какой ток будет показывать миллиамперметр, если реостат нагреется до температуры $50\text{ }^{\circ}\text{C}$?

2.107. Вычислить температурный коэффициент сопротивления проводника, который состоит из алюминиевой проволоки сопротивлением $3\text{ }\Omega$ и железной проволоки сопротивлением $2\text{ }\Omega$, соединенных последовательно.

2.108. Половину нагревательной спирали, которая подсоединена к источнику тока, опустили в воду. Как изменится при этом мощность, которая выделяется всей спиралью? Частью спирали, которая опущена в воду? Открытой частью спирали?

2.109. Собственный полупроводник (германий) при некоторой температуре имеет удельное сопротивление $0,48\text{ }\Omega\cdot\text{m}$. Подвижность электронов в германии равна $0,36\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, а дырок — $0,16\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$. Определить концентрацию носителей зарядов в этом полупроводнике.

2.110. Определить удельное сопротивление германиевого полупроводника p -типа при плотности дырок $3\cdot 10^{20}\text{ m}^{-3}$ и сравнить его с удельным сопротивлением германиевого полупроводника n -типа при той же концентрации электронов. Подвижность дырок в германии равна $0,16\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, а электронов — $0,36\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$.

2.111. Определить температурный коэффициент сопротивления кремния, если при температуре $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ширина его запрещенной зоны равна $1,7\cdot 10^{-19}\text{ Дж}$.

2.112. Во сколько раз концентрация носителей в индии при температуре 400 K больше концентрации при температуре 300 K ?

2.113. Определить ширину запрещенной зоны для германия, если его удельное сопротивление при $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно $0,47\text{ }\Omega\cdot\text{m}$. Считать, что для германия $\sigma_0 = 7,63\cdot 10^5\text{ }\Omega^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$.

2.114. Определить ширину запрещенной зоны полупроводника, если известно, что при температуре $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ его сопротивление равно $1290\text{ }\Omega$, а при температуре $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $1088\text{ }\Omega$.

2.115. Во сколько раз изменится электропроводность кремния при изменении его температуры от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$? Ширина запрещенной зоны кремния $1,7\cdot 10^{-19}\text{ Дж}$?

2.116. Определить удельную электропроводность германия, если известно, что в нем содержится индий с концентрацией $2\cdot 10^{22}\text{ m}^{-3}$ и сурьма с концентрацией $5\cdot 10^{21}\text{ m}^{-3}$. Считать, что подвижность дырок в германии равна $0,16\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, а электронов — $0,36\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$.

2.117. Собственная электропроводность германия при температуре $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна $2,13\text{ }\Omega^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$, подвижность электронов и дырок соответственно $0,36\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ и $0,16\text{ m}^2/\text{V}\cdot\text{s}$. Определить плотность носителей тока в полупроводнике.

Контактные явления в металлах и полупроводниках

- 2.118.** Потенциал ионизации атома гелия 24,5 В. Найти работу ионизации.
- 2.119.** Какой наименьшей скоростью должен обладать электрон для того, чтобы ионизировать атом водорода? Потенциал ионизации водорода 13,5 В.
- 2.120.** Какой наименьшей скоростью обладают электроны, вырванные из цезиевой пластинки при бомбардировке ее электронами, скорость которых 1,3 Мм/с?
- 2.121.** Во сколько раз изменится удельная термоэлектронная эмиссия вольфрама, который находится при температуре 2400 К, если повысить его температуру на 100 К?
- 2.122.** Какова работа выхода электронов из металла, если при увеличении температуры нити накаливания, которая изготовлена из этого металла, от 2000 до 2001 К сила тока насыщения в электронной лампе увеличивается на 1 %?
- 2.123.** На аноде электронной лампы за один час выделяется 63 Дж энергии при силе тока 6,3 мА. Найти скорость электронов катодного пучка при условии, что выделение тепла происходит только за счет кинетической энергии электронов.
- 2.124.** Напряженность поля между анодом и катодом телевизионной трубки 100 кВ/м. Расстояние между ними 10 см. Найти скорость и энергию электронов в момент их удара об экран трубки. Поле внутри трубки считать однородным.
- 2.125.** Определить концентрацию электронов в пучке электронно-лучевой трубки осциллографа вблизи экрана. Площадь поперечного сечения пучка $1,0 \text{ мм}^2$, сила тока 1,6 мкА. Разность потенциалов между катодом и анодом 28,5 кВ. Электроны вылетают из катода без начальной скорости.
- 2.126.** Какой наибольший заряд может пройти по термопаре медь — платина при поглощении горячим спаем 4,19 Дж энергии? Температура горячего спая 100 °С, холодного — 0 °С, ЭДС — 0,75 мВ.
- 2.127.** Термопара висмут — железо с термоэлектрической постоянной $\alpha = 92 \text{ мкВ/К}$ и сопротивлением $R = 5,0 \text{ Ом}$ присоединена к гальванометру с внутренним сопротивлением $r = 110 \text{ Ом}$. Какую силу тока покажет гальванометр, если температура одного спая 100 °С, а второго 0 °С?
- 2.128.** Для измерения температуры среды в нее погружают один спай термопары никель — хром с постоянной $\alpha = 0,5 \text{ мкВ/К}$, которая присоединена к гальванометру с внутренним сопротивлением 2 кОм и ценой деления 10 нА/дел. Чему равна измеряемая температура, если при температуре другого спая 15 °С стрелка прибора отклонилась на 25 делений?
- 2.129.** Термопара медь — константан с сопротивлением 0,25 Ом подключена к гальванометру, внутреннее сопротивление которого 5 Ом, цена деления 0,95 мкА/дел. При нагревании спая на определенную температуру сила тока в гальванометре 85,0 мкА. Какова величина этой температуры и на сколько делений шкалы отклонилась стрелка, если постоянная термопары 36,0 мкВ/К?

2.130. Работа выхода электронов из меди 4,47 эВ, а из свинца — 3,47 эВ. Какова внешняя контактная разность потенциалов при соединении этих двух металлов? Считать концентрации электронов проводимости одинаковыми.

2.131. Определить внутреннюю контактную разность потенциалов между медью и калием при температуре 27 °С.

2.132. Определить контактную разность потенциалов при постоянной температуре в месте соединения меди и алюминия, если работа выхода свободных электронов у алюминия 3,47 эВ, а у меди 4,47 эВ. Заряд какого знака образуется в каждом металле на границе их раздела?

Электрический ток в электролитах, газах и вакууме

2.133. За какое время при электролизе водного раствора хлорной меди (CuCl_2) на катоде выделится 4,74 г меди? Сила тока равна 2 А.

2.134. Медная пластинка размерами 5×5 см является катодом при электролизе медного купороса. После пропускания тока, плотность которого $0,02 \text{ A/cm}^2$, масса пластинки увеличилась на 99 мг. Найти время пропускания тока и толщину слоя меди, который образовался на пластинке.

2.135. Пользуясь законами электролиза и числом Авогадро, определить массу иона водорода и заряд электрона.

2.136. Батарея гальванических элементов ($\mathcal{E} = 0,9 \text{ В}$, $r = 0,6 \text{ Ом}$) состоит из $n = 30$ элементов, соединенных в три одинаковые параллельные группы. Какая масса двухвалентной меди m выделится на катоде электролитической ванны за $t = 5$ мин работы батареи? Сопротивление ванны $R = 205 \text{ Ом}$.

2.137. При электролизе воды через ванну прошло 1000 Кл электричества. Какую температуру имеет кислород, выделившийся при электролизе, если он находится в объеме 0,25 л под давлением 970 мм рт. ст.?

2.138. При соединении одного моля цинка с серной кислотой выделяется примерно 445 кДж тепла, а при выделении моля меди из медного купороса используется примерно 235 кДж. По этим данным найти ЭДС элемента Даниеля.

2.139. Пустотелая проводящая сфера с радиусом 5 см находится в электролитической ванне с медным купоросом. На поверхности сферы имеется отверстие радиусом 0,5 мм. На сколько увеличится масса сферы, если отложение меди продолжается 30 минут, а плотность тока в электролите $0,01 \text{ A/cm}^2$?

2.140. Две электролитические ванны с растворами AgNO_3 и CuSO_4 соединены последовательно. Сколько меди выделится за время, на протяжении которого выделилось 180 мг серебра?

2.141. Найти массу атома водорода, зная электрохимический эквивалент водорода и заряд иона водорода.

2.142. Амперметр, включенный последовательно с электролитической ванной, заполненной раствором AgNO_3 , показывает силу тока 0,9 А. Правильны ли

показания амперметра, если за 5 минут прохождения тока выделилось 316 мг серебра?

2.143. Коэффициент диссоциации водного раствора хлористого калия 77,5%. Найти концентрацию раствора, если его удельное сопротивление 74 мОм·м.

2.144. Коэффициент диссоциации раствора азотнокислого серебра (AgNO_3) с концентрацией $C = 30$ г/л равен $\alpha = 45\%$. Найти удельную электропроводность этого раствора при температуре 18°C .

2.145. При облучении сосуда с газом рентгеновскими лучами в 1 см^3 его каждую секунду ионизируется 10^{19} молекул. В результате рекомбинации в сосуде установилось равновесие, причем в 1 см^3 находится по 10^8 ионов каждого знака. Найти коэффициент рекомбинации.

2.146. Какой относительной скоростью должны обладать молекулы неона, чтобы при взаимодействии произошла одноразовая ионизация одной из них?

2.147. Ионизатор образует за единицу времени в единице объема газа Δn_0 ионов каждого знака. Концентрация ионов каждого знака в некоторый произвольный момент времени n_0 . Газ находится между двумя плоскими параллельными электродами, площадь которых равна S и расстояние между ними l . Сила тока между электродами I . Определить, при каких условиях концентрация ионов между электродами не будет меняться со временем, если коэффициент рекомбинации ионов γ , а заряд одного знака q .

2.148. Воздух, который находится между пластинами плоского конденсатора, ионизируется внешним ионизатором. Найти скорость ионов в поле конденсатора, если его емкость 50 пФ, площадь пластин 250 см^2 , а напряжение между пластинами 400 В.

2.149. К электродам разрядной трубки приложена разность потенциалов 5 В, расстояние между ними 10 см. Газ, который находится в трубке, ионизирован. Концентрация ионов каждого знака составляет 10^{18} м^{-3} . Подвижность ионов равна $b_+ = 3 \cdot 10^{-2}\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, $b_- = 3 \cdot 10^2\text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Найти: 1) плотность тока в трубке; 2) какая часть полного тока переносится положительными ионами.

2.150. Аргон, находящийся между пластинами плоского конденсатора площадью 300 см^2 каждая с расстоянием между ними 5 см, ионизируется внешним ионизатором. Найти число пар ионов, которые образуются за 1 с в объеме 1 см^3 , если сила тока насыщения между пластинами 4 пА.

2.151. Найти число пар ионов, образующихся за 1 с в 1 см^3 воздуха, который находится при нормальных условиях между пластинами плоского конденсатора площадью 250 см^2 каждая. Расстояние между пластинами 5 см. Сила тока насыщения 1 фА.

2.152. Согласно опытным данным искровой разряд в воздухе при нормальных условиях наступает при напряженности поля 30 кВ/см. Найти длину свободного пробега электрона, который при данных условиях обладает энергией 15 аДж.

2.153. При каком напряжении загорится неоновая лампочка, если расстояние между электродами, которые имеют вид тонких плоских пластин, равно d , энергия ионизации $W_{и}$ и длина свободного пробега электронов между двумя последовательными столкновениями с атомами неона λ ? Заряд электрона равен e .

2.154. Разрядник электростатической машины, диски которой вращаются с постоянной скоростью, присоединен к обкладкам лейденской банки. Между шариками разрядника через равные промежутки времени τ_0 проскакивают искры. Через какие промежутки времени будут проскакивать искры, если к разряднику присоединить две лейденские банки, соединенные между собой один раз параллельно, а другой — последовательно? Емкость каждой банки такая же, как и в первом случае.

2.155. Разность потенциалов между облаком и Землей в момент разряда (молнии) достигает 10 МВ, а прошедший заряд равен 30 Кл. Найти энергию разряда и напряженность поля, если высота облака 4 км.

Раздел 3 ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Основные законы и формулы

Электрический ток создает в пространстве, окружающем его, магнитное поле. Модуль вектора индукции магнитного поля B в любой точке среды связан с модулем вектора индукции этого поля в вакууме B_0 соотношением $B = \mu B_0$, где μ — магнитная проницаемость среды.

Согласно закону Био — Савара — Лапласа модуль вектора индукции магнитного поля, созданного элементом длины проводника dl , по которому проходит ток I ,

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2},$$

где r — модуль радиус-вектора, проведенного к точке, в которой определяется поле; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная; α — угол между направлением тока и радиус-вектором.

Модуль вектора индукции магнитного поля бесконечно длинного прямолинейного проводника с током на расстоянии r от его оси равен

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

Модуль вектора индукции магнитного поля в центре кругового витка радиусом R с током I

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

Модуль вектора индукции магнитного поля на оси кругового витка радиусом R с током I

$$H = \frac{R^2 I}{2(R^2 + d^2)^{3/2}},$$

где d — расстояние от центра.

Модуль вектора индукции магнитного поля соленоида с током на его оси

$$B = \frac{\mu_0 I n}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

где $n = N/l$ — число витков на единицу длины соленоида (N — общее число витков, l — длина соленоида).

Для бесконечно длинного соленоида

$$B = \mu\mu_0 n I.$$

Модуль вектора индукции магнитного поля на конце соленоида

$$B = \frac{1}{2} \mu \mu_0 n I.$$

Модуль вектора индукции магнитного поля, созданного заряженной частицей, движущейся со скоростью v , на расстоянии r от нее равен

$$B = \frac{\mu \mu_0 q v \sin \alpha}{4 \pi r^2},$$

где q — заряд частицы, α — угол между направлением движения частицы и прямой, которая соединяет частицу с данной точкой поля.

Модуль вектора индукции магнитного поля внутри тороида

$$B = \frac{\mu_0 \mu N I}{2 \pi r},$$

где μ — магнитная проницаемость сердечника тороида, N — число витков, r — радиус тороида, I — сила тока в обмотке тороида.

Согласно принципу суперпозиции вектор индукции магнитного поля, созданного несколькими токами или движущимися зарядами, равен сумме векторов индукций магнитных полей, создаваемых каждым током или движущимся зарядом в отдельности, т. е.

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

Согласно закону Ампера на проводник с током I длиной l , помещенный в магнитное поле, действует сила, модуль которой

$$F = B l \sin \alpha,$$

где α — угол между направлением тока и вектором индукции магнитного поля \vec{B} .

При перемещении проводника на расстояние Δx в направлении действия силы Ампера она выполняет работу

$$A = F \Delta x = B I l \Delta x = B I S = I \Phi,$$

где Φ — магнитный поток, который пересекает проводник.

Модуль силы взаимодействия двух расположенных на расстоянии d друг от друга параллельных проводников длиной l каждый, силы тока в которых равны I_1 и I_2 соответственно, определяется выражением

$$F = \mu_0 \mu \frac{I_1 I_2 l}{2 \pi d}.$$

Модуль силы Лоренца, действующей на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле,

$$F_{\text{Л}} = q v B \sin \alpha,$$

где q — модуль заряда частицы, v — модуль вектора скорости, B — модуль вектора индукции магнитного поля, α — угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

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

$$\Delta\varphi = R_x \frac{IB}{d},$$

где $R_x = 1/(ne)$ — постоянная Холла, n — концентрация носителей тока.

Магнитный поток Φ через плоскую поверхность площадью ΔS определяется по формуле

$$\Phi = B\Delta S \cos \alpha,$$

где α — угол между направлением вектора индукции магнитного поля \vec{B} и нормалью к поверхности.

Полный магнитный поток (потокосцепление), пронизывающий все витки катушки, находящейся в магнитном поле,

$$\Psi = N\Phi = NBS \cos \alpha,$$

где N — общее число витков катушки, S — площадь одного витка.

Согласно закону электромагнитной индукции значение ЭДС индукции

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

Если проводящий контур замкнут, то ЭДС индукции создает в нем индукционный ток $I = \mathcal{E}_i/R$, где R — сопротивление проводящего контура.

ЭДС индукции в проводнике длиной l , движущемся со скоростью v в магнитном поле, модуль индукции которого равен B ,

$$\mathcal{E}_i = Blv \sin \alpha,$$

где l — длина активной части проводника, т. е. той его части, которая находится в магнитном поле; α — угол между вектором индукции магнитного поля и направлением движения проводника. Если проводник является частью замкнутой электрической цепи, то ЭДС индукции создает в этой цепи ток. В этом случае

$$I = \frac{Blv \sin \alpha}{R},$$

где R — полное сопротивление электрической цепи.

ЭДС индукции, возникающая в рамке площадью S , содержащей N витков, при ее вращении в магнитном поле с угловой скоростью ω ,

$$\mathcal{E}_i = NBS\omega \sin \omega t.$$

Ток I , который проходит по замкнутому проводящему контуру, создает в пространстве вокруг этого контура магнитное поле. Магнитный поток Φ этого поля через поверхность, ограниченную названным контуром, равен

$$\Phi = LI,$$

где L — индуктивность (коэффициент самоиндукции) контура.

Значение индуктивности проводящего контура зависит от его формы, геометрических размеров и магнитных свойств среды, в которой находится этот контур. Например, индуктивность соленоида

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

где $n = N/l$ — число витков на единицу длины, S — площадь поперечного сечения витков, l — длина соленоида.

Если сила тока в проводящем контуре изменяется, то изменяется и магнитный поток, созданный этим током, поэтому в контуре возникает ЭДС, которую в этом случае называют ЭДС самоиндукции.

Значение ЭДС самоиндукции определяются по формуле

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}.$$

Работа по перемещению замкнутого контура с током I в магнитном поле

$$A = I \Delta \Phi,$$

где $\Delta \Phi$ — изменение магнитного потока, пронизывающего поверхность, ограниченную контуром.

Энергия магнитного поля, созданного током I , проходящим по замкнутому контуру индуктивностью L , определяется по формуле

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

Плотность энергии магнитного поля

$$w = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}.$$

Заряд Δq , прошедший через поперечное сечение проводника при возникновении в нем индукционного тока,

$$\Delta q = -\frac{\Delta \Phi}{R},$$

где R — сопротивление проводника, $\Delta \Phi$ — изменение магнитного потока, пронизывающего площадку, ограниченную проводящим контуром.

Вследствие явления самоиндукции сила тока в цепи при выключении ЭДС убывает по закону

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

При включении ЭДС сила тока нарастает по закону

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

Магнитное поле

3.1. Вычислите магнитный поток, который пронизывает прямоугольную площадку со сторонами 30 и 50 см, если магнитная индукция во всех точках площадки равна 0,5 Тл, а вектор магнитной индукции образует с нормалью к этой площадке угол: 1) $\alpha = 0^\circ$; 2) $\alpha = 45^\circ$; 3) $\alpha = 90^\circ$.

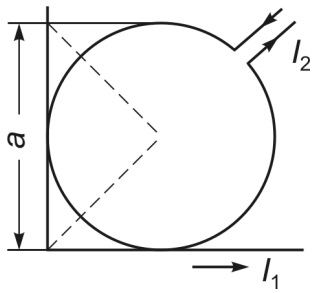


Рис. 3.1

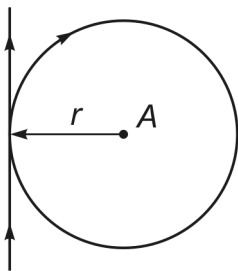


Рис. 3.2

3.2. Какой магнитный поток пронизывает плоскую поверхность площадки площадью 30 см^2 , помещенную в однородное магнитное поле с индукцией $1,2 \cdot 10^2 \text{ Тл}$? Плоская поверхность находится в воздухе и составляет с направлением силовых линий угол 30° .

3.3. Вычислить магнитный поток соленоида без сердечника, если его длина $l = 1,6 \text{ м}$, а по виткам течет ток $I = 6,3 \text{ А}$. Соленоид имеет $N = 1400$ витков и радиус $r = 4,8 \text{ см}$.

3.4. В магнитном поле, индукция которого равна $B = 0,05 \text{ Тл}$, вращается стержень длиной $l = 1 \text{ м}$. Ось вращения проходит через один из концов стержня и параллельна силовым линиям магнитного поля. Найти поток вектора магнитной индукции, который пересекается стержнем при каждом обороте.

3.5. Два прямолинейных проводника с силами токов $I_1 = 3,0 \text{ А}$ и $I_2 = 4,0 \text{ А}$ расположены один горизонтально, а другой вертикально. Наименьшее расстояние между ними

$d = 0,1 \text{ м}$. Вычислить модуль магнитной индукции в точке, которая находится посередине этого расстояния.

3.6. По двум бесконечно длинным прямолинейным проводникам, которые находятся на расстоянии $r = 10 \text{ см}$ друг от друга, текут токи силой $I = 5 \text{ А}$ в каждом. Вычислить индукцию магнитного поля, которое создают токи в точке, находящейся посередине между проводниками, в случаях: а) проводники параллельны и токи текут в одном направлении; б) проводники расположены перпендикулярно друг к другу.

3.7. Найти магнитную индукцию поля в точке, которая лежит на биссектрисе прямого угла, созданного согнутым бесконечно длинным проводником с током силой $I = 10 \text{ А}$, на расстоянии $r = 20 \text{ см}$ от вершины.

3.8. Изолированный проводник согнут в виде прямого угла со сторонами $a = 0,2 \text{ м}$ каждая. В плоскости угла размещен проводник в форме кольца так, что стороны угла являются касательными к кольцу (рис. 3.1). Силы токов в обоих проводниках равны ($I_1 = I_2 = 2 \text{ А}$). Найти индукцию магнитного поля в центре кольца.

3.9. Прямой бесконечно изолированный проводник имеет круглую петлю радиусом $r = 80 \text{ см}$ (рис. 3.2). Вычислить индукцию магнитного поля в центре петли, если сила тока в проводнике $I = 12 \text{ А}$.

3.10. Два concentric circular loops with radii $r_1 = 2 \text{ см}$ and $r_2 = 12 \text{ см}$ with currents lie in one plane. Induction of magnetic field in the center of loops $B = 63 \text{ мкТл}$ in case, if currents flow in one direction, and $B = 0$, if — in different. Determine the current in the loops.

3.11. По двум бесконечно длинным прямым проводникам, расстояние между которыми 15 см, текут токи 4 А и 6 А. Определить расстояние от проводника с большей силой тока до геометрического места точек, в которых индукция магнитного поля равна нулю, в случаях, если токи текут в одном направлении и если — в разных.

3.12. Ток $I = 20$ А, протекая по кольцу из медной проволоки, поперечное сечение которого $S = 1 \cdot 10^{-6}$ м², образует магнитное поле с индукцией в центре кольца $B = 0,22$ мТл. Какая разность потенциалов приложена к концам этой проволоки?

3.13. По квадратной рамке со сторонами $a = 0,2$ м течет ток $I = 4$ А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля в центре рамки.

3.14. В длинном прямолинейном проводнике радиусом $r = 1$ см сила тока $I = 50$ А. Определить индукцию магнитного поля внутри проводника на расстоянии $r_1 = 0,8$ см от его центра и за его пределами на расстоянии $r_2 = 5$ см.

3.15. В тонкостенной длинной трубе сила тока $I = 5$ А. По оси трубы расположен тонкий проводник, по которому течет такой же ток в противоположном направлении. Вычислить индукцию магнитного поля в точках, расположенных внутри трубы на расстоянии $r_1 = 2$ см и за трубой на расстоянии $r_2 = 12$ см от оси трубы.

3.16. В трубе радиусом $r = 5$ см сила тока $I = 100$ А. Определить магнитную индукцию поля в центре трубы и за ее пределами на расстоянии $r_1 = 5$ см от ее поверхности.

Действие магнитного поля на проводник с током и на заряд, который движется в магнитном поле

3.17. Определить радиус плоской катушки, состоящей из 40 витков, если при силе тока в ней 3,5 А она обладает магнитным моментом $1,33$ А·м².

3.18. По теории Бора, если атом водорода находится в невозбужденном состоянии, его электрон движется по орбите радиусом $0,53 \cdot 10^{-10}$ м со скоростью 2000 км/с. Рассматривая движение электрона по орбите как круговой ток, вычислить индукцию магнитного поля в центре орбиты и магнитный момент этого тока.

3.19. В однородном магнитном поле с индукцией 0,25 Тл находится плоская катушка радиусом 25 см, состоящая из 75 витков. Плоскость катушки составляет угол в 60° с направлением магнитных силовых линий (рис. 3.3). Определить вращательный момент, действующий на катушку в магнитном поле, если по ее виткам течет ток силой 8 А.

3.20. Определить наибольшее и наименьшее значения силы, действующей на проводник длиной 1,2 м с током 3 А при разных его положениях в однородном магнитном поле, модуль индукции которого 0,5 Тл.

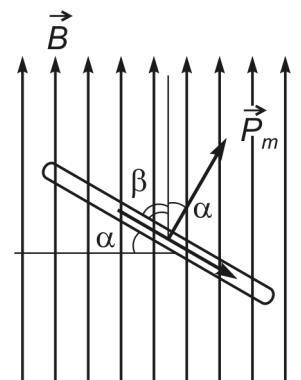


Рис.3.3

3.21. Какова сила тока в проводнике, который находится в однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл, если длина проводника 20 см, сила, действующая на проводник, 0,75 Н, а угол между направлением линий индукции и током 49° ?

3.22. Какой силы ток должен протекать по прямолинейному проводнику, помещенному в однородное магнитное поле перпендикулярно к линиям индукции, чтобы он висел и не падал? Масса 1 м длины проводника 3 кг, индукция магнитного поля 20 Тл.

3.23. В однородном магнитном поле, линии индукции которого направлены вертикально, горизонтально подвешен на двух нитях прямолинейный проводник массой 40 г и длиной 20 см. Какой силы по проводнику должен течь ток, чтобы нить отклонилась на 45° от вертикали? Модуль вектора индукции 0,25 Тл. Массу нити не учитывать.

3.24. По двухпроводной линии, размещенной в воздухе, протекает ток силой 5 А. Определить силу, которая действует на единицу длины каждого провода, если расстояние между проводами 40 см.

3.25. На расстоянии 5 см параллельно длинному прямолинейному проводнику движется электрон с кинетической энергией 1 кэВ. Какая сила будет действовать на электрон, если в проводнике создать ток силой 1 А?

3.26. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 3,52 кВ, влетел в однородное магнитное поле перпендикулярно к линиям индукции. Найти радиус траектории электрона, если модуль индукции магнитного поля 0,01 Тл.

3.27. Электрон, движущийся в вакууме со скоростью $1 \cdot 10^6$ м/с, попадает в однородное магнитное поле под углом 30° к силовым линиям поля. Определить радиус винтовой линии, по которой будет двигаться электрон, и ее шаг, если модуль вектора индукции 1,2 мТл.

3.28. Винтовая линия, по которой движется электрон в однородном магнитном поле, имеет радиус 40 мм и шаг 200 мм. Индукция поля 5 мТл. Определить скорость электрона.

3.29. Однородное электрическое поле напряженностью 20 кВ/м и однородное магнитное поле с индукцией 4 мТл взаимно перпендикулярны. В этих полях прямолинейно движется электрон. Определить скорость электрона.

3.30. Момент импульса протона в однородном магнитном поле с индукцией 25 мТл равен $6,6 \cdot 10^{-23}$ кг·м²/с. Найти кинетическую энергию протона, если он движется перпендикулярно к линиям индукции.

3.31. Пучок электронов проходит между пластинами плоского конденсатора, расстояние между которыми 2,4 см. При входе в конденсатор скорость электронов параллельна пластинам. В конденсаторе создается магнитное поле с индукцией $6,2 \cdot 10^{-4}$ Тл, направленное перпендикулярно к вектору скорости электронов (рис. 3.4). Если конденсатор не заряжен, то электроны движутся по дуге радиусом 1,8 см, а при напряжении между пластинами 29,3 В электроны движутся прямолинейно и параллельно пластинам. Определить удельный заряд электрона.

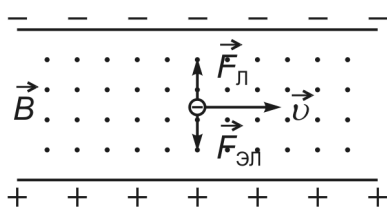


Рис. 3.4

3.32. Однозарядные ионы неона с массовыми числами 20 и 22, которые обладают кинетической энергией $6,2 \cdot 10^{-16}$ Дж, попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно к его силовым линиям. Описав полукруг, они выходят из поля двумя пучками. Определить расстояние между пучками, если магнитное поле находится в вакууме и его индукция 0,24 Тл.

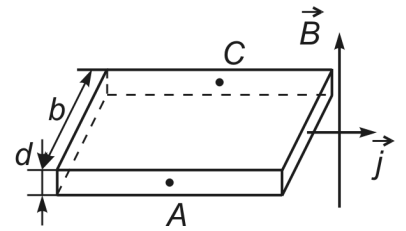


Рис.3.5

3.33. Однозарядные ионы аргона разгоняются в электрическом поле с напряжением 800 В, а затем попадают в однородное магнитное поле с индукцией 0,32 Тл, где разделяются на два пучка, которые движутся в вакууме по дугам окружностей радиусами 7,63 см и 8,05 см. Определить массовые числа изотопов аргона.

3.34. Определить разность потенциалов, которая возникает вдоль ширины алюминиевой ленты при помещении ее в однородное магнитное поле с индукцией 0,6 Тл. Ширина ленты 10 см, плотность тока в ленте $5,0 \text{ А/мм}^2$. Вектор индукции магнитного поля перпендикулярен к плоскости ленты (рис. 3.5). Считать, что алюминий имеет 2 свободных электрона на каждый атом.

3.35. Медная лента, толщина которой 0,15 мм, находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,50 Тл так, что плоскость ленты перпендикулярна к силовым линиям поля. Сила тока в ленте 10 А. Определить разность потенциалов, которая возникает вдоль ширины ленты, если считать, что в меди на каждый атом приходится по одному свободному электрону.

3.36. В однородном магнитном поле с индукцией 0,8 Тл находится медная пластинка, по которой протекает ток силой 5,0 А. Вектор индукции магнитного поля перпендикулярен к плоскости пластинки. Толщина пластинки 1 мм. Определить концентрацию свободных электронов в меди, если вдоль ширины пластинки возникла разность потенциалов 2,0 мкВ.

Электромагнитная индукция

3.37. Магнитный поток 40 мВб пронизывает замкнутый контур. Определить среднее значение ЭДС индукции в контуре, если магнитный поток изменится до нуля за 2 мс.

3.38. Однородное магнитное поле нарастает пропорционально времени: $B = kt$, где $k = 10 \text{ Тл/с}$. Какое количество теплоты выделится в рамке, которая имеет форму квадрата со стороной 1 м, за время 2 с? Рамка изготовлена из алюминиевой проволоки, поперечное сечение которой 1 мм^2 . Плоскость рамки расположена перпендикулярно к полю. Температура в помещении $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.39. Виток медной проволоки помещен в однородное магнитное поле перпендикулярно к линиям магнитной индукции. Диаметр витка равен 20 см, диаметр проволоки 2 мм. С какой скоростью изменяется индукция магнитного поля, если по кольцу идет ток 5 А?

3.40. Соленоид, который имеет 1000 витков медной проволоки сечением $0,2 \text{ мм}^2$, находится в однородном поле параллельно линиям магнитной индукции.

Индукция магнитного поля изменяется со скоростью 10 мТл/с . Диаметр соленоида равен 5 см . Вычислите тепловую мощность, выделяющуюся в соленоиде, концы которого соединены между собой.

3.41. Вычислить ЭДС индукции в проводнике длиной 25 см , который перемещается в однородном магнитном поле с индукцией 8 мТл со скоростью 5 м/с под углом 30° к вектору магнитной индукции.

3.42. В однородном магнитном поле, индукция которого равна 1 Тл , находится проволока длиной 20 см , концы которой замкнуты за пределами поля. Сопротивление всей цепи $0,1 \text{ Ом}$. Вычислить силу, которую необходимо приложить к проволоке, чтобы перемещать ее перпендикулярно к линиям индукции со скоростью $2,5 \text{ м/с}$.

3.43. Прямая проволока длиной 10 см находится в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл . Концы проволоки замкнуты за пределами поля. Сопротивление всей цепи равно $0,4 \text{ Ом}$. Какая мощность необходима для того, чтобы двигать проволоку перпендикулярно к линиям индукции со скоростью 20 м/с ?

3.44. Проводник длиной 1 м и сопротивлением 2 Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией 1 Тл . Проводник подсоединен к источнику тока с ЭДС 1 В . Чему будет равна сила тока в проводнике, если он: а) находится в состоянии покоя; б) движется вправо со скоростью 4 м/с ; в) движется влево со скоростью 4 м/с ? В каком направлении и с какой скоростью надо перемещать проводник, чтобы через него не шел ток?

3.45. В однородном магнитном поле с индукцией $0,4 \text{ Тл}$ в плоскости, перпендикулярной к линиям индукции магнитного поля, вращается стержень длиной 10 см . Ось вращения проходит через один из его концов. Определить разность потенциалов, которая возникает на концах стержня, если частота его вращения равна 16 с^{-1} .

3.46. В плоскости, перпендикулярной к магнитному полю с индукцией $0,25 \text{ Тл}$, вращается стержень длиной $0,4 \text{ м}$ относительно оси, которая проходит через его середину. В стержне индуцируется ЭДС $0,2 \text{ В}$. Вычислить угловую скорость вращения стержня.

3.47. Изолированный металлический диск радиусом 25 см вращается с частотой 1000 оборотов в минуту. Найти разность потенциалов между центром и краем диска, возникшую в случае наличия перпендикулярного к диску однородного магнитного поля с индукцией 10 Тл .

3.48. По катушке, индуктивность которой $0,03 \text{ мГн}$, идет ток $0,6 \text{ А}$. При размыкании цепи сила тока изменяется до нуля за 120 мкс . Вычислить среднее значение ЭДС самоиндукции, которая возникает в катушке.

3.49. Индуктивность катушки равна 2 мГн . Ток, который протекает по катушке, имеет частоту 50 Гц , изменяется по синусоидальному закону. Вычислить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в катушке за промежуток времени, на протяжении которого ток изменяется от минимального до максимального значения, если амплитудное значение тока 10 А .

3.50. Две катушки расположены на небольшом расстоянии друг от друга. Если ток в одной из них изменяется со скоростью 5 А/с, то в другой — возникает ЭДС индукции 0,1 В. Вычислите коэффициент взаимной индукции катушек.

3.51. На картонный каркас, который имеет длину 50 см и площадь сечения 4 см^2 , намотана в один слой проволока диаметром 0,2 мм так, что витки плотно прилегают друг к другу. Вычислить индуктивность полученного соленоида.

3.52. Сколько витков проволоки диаметром 0,4 мм необходимо намотать на картонный цилиндр диаметром 2 см, чтобы получить однослойную катушку с индуктивностью 1 мГн?

3.53. Соленоид с индуктивностью 4 мГн имеет 600 витков. Вычислить магнитный поток, если по соленоиду течет ток 12 А.

3.54. Соленоид имеет 1000 витков, площадь его сечения равна 10 см^2 . Ток, который идет по соленоиду, создает в нем индукцию магнитного поля 1,5 Тл. Вычислить среднее значение ЭДС индукции, если ток уменьшается до нуля за 50 мс.

3.55. Обмотка тороида с немагнитным сердечником имеет 250 витков проволоки с диаметром витков 2 см. Средний диаметр тороида равен 8 см. На тороид намотана вторичная обмотка, которая имеет 100 витков. При замыкании первичной обмотки в ней на протяжении 1 мс устанавливается ток 3 А. Вычислить среднюю ЭДС индукции, которая возникает во вторичной обмотке.

3.56. В цепи идет ток 50 А. Источник тока можно отключить без разрыва цепи. Вычислить силу тока в этой цепи через 0,01 с после отключения источника тока, если сопротивление цепи равно 20 Ом, а его индуктивность 0,1 Гн.

3.57. Электрическая лампочка имеет сопротивление 6 Ом. Через дроссель, сопротивление которого 1 Ом и индуктивность 2 Гн, она подсоединяется к аккумулятору с ЭДС 12 В. Через какое время после включения цепи лампочка загорится, если она начинает заметно светиться при напряжении на ней 6 В?

3.58. Катушка, сопротивление которой 0,5 Ом и индуктивность 4 мГн, соединена параллельно с резистором сопротивлением 2,5 Ом. Катушка и резистор подсоединены к источнику тока с ЭДС 10 В. Какой заряд пройдет через катушку, если отключить источник тока?

3.59. Проводник длиной 39 см, по которому идет ток 20 А, расположен под углом 30° к силовым линиям магнитного поля, индукция которого равна 0,4 Тл. Вычислить работу, выполненную при перемещении проводника на расстояние 25 см перпендикулярно к силовым линиям поля.

3.60. Два прямолинейных длинных проводника находятся на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут одинаковые токи одного направления силой 30 А. Какую работу необходимо выполнить на единицу длины проводников, чтобы раздвинуть их на расстояние 20 см?

3.61. Два прямолинейных длинных проводника находятся на некотором расстоянии друг от друга. По проводникам протекают одинаковые по величине и по направлению токи. Вычислить силу этих токов, если известно, что для того

чтобы раздвинуть проводники на вдвое большее расстояние, была выполнена работа на единицу длины проводников $8,3 \cdot 10^{-5}$ Дж.

3.62. Плоский контур, площадь которого 300 см^2 , находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,01$ Тл. Плоскость контура перпендикулярна к линиям индукции. В контуре поддерживается неизменный ток 10 А. Вычислить работу внешних сил по перемещению контура с током в ту область пространства, где отсутствует магнитное поле.

3.63. В однородном магнитном поле в плоскости, которая перпендикулярна к линиям индукции, расположен круглый контур площадью 100 см^2 . Контур имеет 10 витков, и по нему идет ток 3 А. Каким должно быть направление тока в контуре, чтобы при повороте его вокруг одного из диаметров на 180° силы поля выполнили положительную работу? Какова величина этой работы? Индукция магнитного поля равна $1,8 \cdot 10^{-5}$ Тл.

3.64. В одной плоскости с бесконечно длинным прямым проводником с током в 5 А расположена прямоугольная рамка, стороны которой равны 10 см и 20 см. Большая сторона рамки параллельна прямому проводнику и находится от него на расстоянии 5 см. По рамке проходит ток 1 А. Определить работу, которую необходимо выполнить, чтобы перенести рамку параллельно самой себе на дополнительное расстояние от проводника 5 см.

3.65. Условие предыдущей задачи (№ 3.64). Вычислить работу, которую необходимо выполнить, чтобы удалить рамку за границы магнитного поля.

3.66. По обмотке соленоида индуктивностью $0,2$ Гн идет ток 10 А. Определить энергию магнитного поля соленоида.

3.67. Соленоид имеет 1000 витков. Сила тока в его обмотке равна 1 А. Магнитный поток через его поперечное сечение равен $0,1$ мВб. Вычислить энергию магнитного поля соленоида.

3.68. По обмотке тороида с диаметром средней линии 30 см идет ток $0,6$ А. Витки тороида из проволоки диаметром $0,4$ мм плотно прилегают друг к другу. Площадь поперечного сечения тороида равна 4 см^2 . Вычислить индуктивность тороида и энергию магнитного поля внутри железного сердечника тороида.

3.69. При индукции магнитного поля 1 Тл плотность энергии магнитного поля в железе равна 200 Дж/м^3 . Вычислить магнитную проницаемость железа при этих условиях.

3.70. При некоторой силе тока плотность энергии магнитного поля соленоида без сердечника равна $0,2 \text{ Дж/м}^3$. Во сколько раз и как изменится объемная плотность энергии магнитного поля соленоида при той же силе тока, если в соленоид вставить железный сердечник? У к а з а н и е : B_2 найти, используя зависимость $B = f(H)$ для железа.

3.71. Напряженность магнитного поля тороида с железным сердечником возросла от 200 А/м до 800 А/м . Во сколько раз изменилась объемная энергия магнитного поля тороида? У к а з а н и е : использовать зависимость $B = f(H)$ для железа.

Магнитные свойства вещества

3.72. Определить намагниченность тела при насыщении, если магнитный момент каждого атома равен магнетону Бора, а концентрация атомов равна $6 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

3.73. Магнитная восприимчивость марганца равна $1,21 \cdot 10^{-4}$. Определить намагниченность марганца, удельную и молярную его намагниченность в магнитном поле напряженностью 1000 кА/м .

3.74. Напряженность магнитного поля в меди равна 10^6 А/м . Определить намагниченность меди и магнитную индукцию в ней, если известно, что удельная магнитная восприимчивость ее равна $-1,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$.

3.75. Магнитная восприимчивость алюминия равна $2,1 \cdot 10^{-5}$. Вычислить его удельную и молярную восприимчивость.

3.76. Удельная магнитная восприимчивость висмута равна $-2,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$. Вычислить его магнитную и молярную магнитную восприимчивость.

3.77. Вычислить намагниченность платины при внесении ее в магнитное поле напряженностью 10^4 А/м , если магнитная восприимчивость ее равна $-3 \cdot 10^{-4}$.

3.78. Виток радиусом 1 м с током 2 А помещены в жидкий кислород. Вычислить намагниченность в центре витка. Магнитная восприимчивость кислорода равна $-3,4 \cdot 10^{-3}$.

3.79. Вычислить частоту ларморовой прецессии электронной орбиты в атоме, если индукция магнитного поля равна 1 Тл .

3.80. Кюри экспериментально установил, что магнитная восприимчивость парамагнитного вещества обратно пропорциональна его абсолютной температуре. Если магнитная восприимчивость какого-нибудь парамагнитного вещества определена при $0 \text{ }^\circ\text{C}$, то как должна измениться его температура, чтобы магнитная восприимчивость возросла на 10% ?

3.81. Индукция магнитного поля в железном стержне равна $1,4 \text{ Тл}$. Определить намагниченность стержня, если его магнитные свойства выражаются графиком $B = f(H)$. Какую часть магнитного поля железного стержня составляет внутреннее магнитное поле?

3.82. Кусок железа внесли в магнитное поле напряженностью 10^3 А/м . Вычислить магнитную проницаемость, намагниченность и магнитную восприимчивость железа.

3.83. Пользуясь графиком зависимости $B = f(H)$ для железа (рис. 3.6), вычислить его магнитную проницаемость при следующих напряженностях магнитного поля (в А/м): $50, 75, 100, 200, 500, 1000, 1500$. Построить график $\mu = f(H)$ и по графику вычислить максимальное значение магнитной проницаемости.

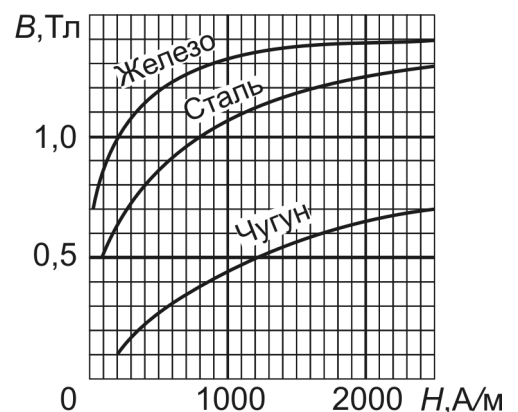


Рис. 3.6

3.84. В таблице приведены координаты предельного цикла гистерезиса некоторого ферромагнетика. Построить петлю гистерезиса. (Желательный масштаб: 10 мм = 100 А/м, 10 мм = 0,2 Тл.) Вычислить по графику коэрцитивную силу, индукцию магнитного поля и намагниченность ферромагнетика при насыщении, остаточную намагниченность.

H , А/м	0	100	200	300	400	500	600	700	800
B , Тл нижняя	-0,23	0	0,23	0,46	0,69	0,92	1,10	1,20	1,26
B , Тл верхняя	0,23	0,46	0,69	0,92	1,08	1,15	1,19	1,24	1,26

3.85. На железном кольце, средний диаметр которого равен 25 см, находятся 500 витков проволоки. Вычислить индукцию магнитного поля в железе и его магнитную проницаемость, если сила тока в обмотке равна 0,5 А и 2,5 А.

3.86. Замкнутый соленоид (тороид) со стальным сердечником имеет 10 витков на каждом сантиметре его длины. По обмотке тороида течет ток 1,5 А. Вычислить магнитный поток в сердечнике тороида, если площадь его сечения равна 4 см².

3.87. На железное кольцо со средним диаметром 16 см намотана катушка, которая имеет 50 витков и сопротивление 10 Ом. Площадь поперечного сечения кольца 10 см². На катушку подано напряжение 64 В. Вычислить поток магнитной индукции и магнитную проницаемость сердечника.

3.88. В соленоид длиной 0,1 м, который имеет 150 витков, введен магнитный сердечник. По соленоиду проходит ток 1 А. Вычислить намагниченность железа внутри соленоида, если его магнитные свойства выражаются графиком $B = f(H)$.

Квазистационарные токи

3.89. Прямоугольная рамка площадью 100 см² вращается в горизонтальном однородном магнитном поле, индукция которого 0,2 Тл. Частота вращения рамки 50 об/с. Найти закон изменения магнитного потока через рамку в зависимости от времени, если: а) в начальный момент плоскость рамки расположена горизонтально; б) составляет с горизонтальной плоскостью угол 30°. Найти закон изменения ЭДС, которая возникает в рамке при ее вращении в магнитном поле. Как изменится амплитуда ЭДС, если частоту вращения рамки увеличить в несколько раз?

3.90. Рамка площадью 400 см² имеет 100 витков и вращается в однородном магнитном поле с индукцией 10⁻² Тл. Период ее вращения 0,1 с. Определить максимальное значение ЭДС, которая возникает в рамке, если ось вращения перпендикулярна к силовым линиям поля.

3.91. Определить частоту вращения прямоугольной рамки в однородном магнитном поле с индукцией 0,5 Тл, если амплитуда ЭДС, которая возникает в рамке, равна 10 В. Площадь рамки 200 см², рамка имеет 29 витков.

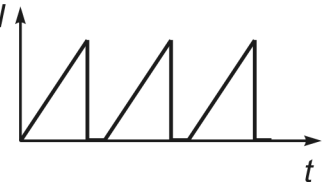


Рис. 3.7

3.92. Напряжение на концах участка цепи, по которому течет переменный ток, изменяется по закону $U = U_0 \sin(\omega t + \pi/6)$. В момент времени $T/12$ мгновенное значение напряжения равно 10 В. Вычислить амплитуду напряжения, круговую и линейную частоты, если период колебаний равен 0,01 с.

3.93. Неоновая лампочка включена в цепь переменного тока с напряжением 71 В и периодом 0,02 с. Вычислить промежуток времени, на протяжении которого лампа светится, и частоту вспышек. Напряжение, при котором зажигается и гаснет лампа, равно 86,7 В.

3.94. На рисунке 3.7 приведен график пилообразного напряжения, период которого равен 1 с. Ток равномерно возрастает от нуля до максимального значения 0,1 А за 0,8 с, затем скачком падает до нуля. Вычислить среднее и действующее значения тока в цепи.

3.95. Реостат, длина которого 50 см и площадь поперечного сечения 15 см², имеет 2000 витков. Его активное сопротивление 100 Ом. Какое сопротивление этот реостат будет иметь в цепи переменного тока с частотой 1000 Гц?

3.96. В сеть переменного тока, частота которого равна 50 Гц, включены последовательно резистор сопротивлением 1000 Ом и катушка индуктивности, которая имеет форму цилиндра диаметром 4 см и длиной 40 см. Обмотка цилиндра имеет 400 витков медной проволоки диаметром 0,5 мм. Внутри катушки находится железный сердечник. При возникновении тока в цепи между током и напряжением возникает сдвиг фаз, равный 30°. Вычислить среднюю магнитную проницаемость железа сердечника.

3.97. На последовательно соединенные реостат и катушку индуктивности 0,1 Гн подано напряжение частотой 50 Гц. Между напряжением и током наблюдается сдвиг фаз 30°. Чему равно сопротивление реостата? При какой емкости конденсатора, включенного в цепь последовательно, мог бы исчезнуть сдвиг фаз в цепи?

3.98. Плоский конденсатор залит диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 32, и удельным сопротивлением 107 Ом·м. Вычислить разность фаз между током и напряжением в цепи переменного тока с таким конденсатором при частоте 50 Гц и 1000 Гц.

3.99. В цепь переменного тока с эффективным напряжением 120 В последовательно включены резистор сопротивлением 15 Ом и катушка индуктивностью 50 мГн. Вычислить частоту, если амплитуда тока в цепи переменного тока 7 А.

3.100. Индуктивное сопротивление катушки равно 500 Ом. Эффективное напряжение сети, в которую включена катушка, равно 100 В; частота — 1 кГц. Вычислить амплитуду тока в цепи и индуктивность катушки.

3.101. В сеть переменного тока с эффективным напряжением 127 В последовательно включены резистор сопротивлением 100 Ом и конденсатор емкостью 40 мкФ. Вычислить амплитуду тока в цепи. Частота переменного тока 50 Гц.

3.102. В сеть с напряжением 220 В включены последовательно катушка с индуктивностью 160 мГн и активным сопротивлением 2 Ом и конденсатор емкостью 64 мкФ. Вычислить ток в цепи при частоте напряжения 200 Гц. Чему равен сдвиг фаз между током и напряжением в цепи в этом случае? Построить векторную диаграмму напряжений для рассматриваемого случая. При какой частоте наступит резонанс в цепи и какими в этом случае будут ток в цепи и напряжение на катушке и конденсаторе? Построить векторную диаграмму напряжений при резонансе.

3.103. На участок цепи, который состоит из дросселя с активным сопротивлением 30 Ом и индуктивностью 1 мГн, параллельно соединенного с конденсатором емкостью 1 мкФ, подается переменное напряжение 220 В частотой 50 Гц. Вычислить ток в цепи и на его отдельных участках, сдвиг фаз между током и напряжением. Построить диаграмму токов для рассматриваемого случая. При какой частоте в цепи возникнет резонанс токов? Чему будет равен ток в цепи и на его отдельных участках при параллельном резонансе? Построить векторную диаграмму токов при резонансе.

3.104. В цепь переменного тока с эффективным напряжением 120 В включена катушка индуктивности, активное сопротивление которой равно 15 Ом, а индуктивность — 50 мГн. Частота переменного тока 50 Гц. Вычислить мгновенную мощность в цепи переменного тока. Чему равны активная и реактивная составляющие мощности и полная мощность?

3.105. Электрическая дуга включена в цепь переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 110 В. При горении дуги ее сопротивление равно 1,4 Ом. Какую индуктивность необходимо включить последовательно в цепь для получения тока в ней 30 А? Какая мощность тока при этом будет расходоваться в цепи?

3.106. На участок цепи, который состоит из последовательно соединенных активного сопротивления 15 Ом и дросселя с индуктивностью 0,1 Гн и активным сопротивлением 10 Ом, подается напряжение 220 В с частотой 50 Гц. Какая мощность тока потребляется этим участком цепи? Какая мощность будет потребляться участком, если к нему последовательно подсоединить конденсатор, при котором сдвиг фаз между током и напряжением станет равным нулю? Какую емкость должен иметь конденсатор?

3.107. В цепь переменного тока последовательно включены два дросселя: один с активным сопротивлением 12 Ом и индуктивностью 22 мГн, второй — с активным сопротивлением 8 Ом и индуктивностью 9,6 мГн. Ток в цепи равен 5,7 А. Вычислить мощность, которую потребляет каждый дроссель, и напряжение на клеммах цепи. Частота переменного тока равна 50 Гц.

3.108. При включении катушки в цепь постоянного тока с напряжением 12 В амперметр показал силу тока 4 А. При включении той же катушки в цепь переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением 12 В — 2,4 А. Чему будет равна

индуктивность катушки? Вычислить активную мощность в цепи, если последовательно с катушкой подключить еще и конденсатор емкостью 394 мкФ. Нарисовать векторную диаграмму.

Электромагнитные колебания

3.109. Катушка индуктивностью 1 мГн, плоский конденсатор, который имеет две пластины диаметром 20 см каждая, соединены параллельно. Расстояние между пластинами конденсатора 1 мм. Вычислить период колебаний контура.

3.110. Конденсатор емкостью 500 пкФ соединен параллельно с катушкой, длина которой 40 см, а площадь сечения 5 см^2 . Катушка имеет 1000 витков. Сердечник немагнитный. Вычислить период колебаний контура.

3.111. Катушка без сердечника длиной 50 см и площадью сечения 3 см^2 имеет 1000 витков. Катушка параллельно соединена с конденсатором, который имеет две пластины площадью 75 см^2 каждая. Расстояние между пластинами равно 5 мм. Диэлектрик — воздух. Вычислить период колебаний контура.

3.112. На какой диапазон частот можно настроить колебательный контур, если его индуктивность $2 \cdot 10^{-3}$ Гн, а емкость может изменяться от 60 до 480 нФ? Какие длины волн соответствуют этим частотам?

3.113. Индуктивность колебательного контура 0,5 мГн. Какая должна быть емкость этого контура, чтобы он резонировал на длину волны 300 м? Какая частота колебаний в контуре будет соответствовать этой волне?

3.114. Колебательный контур, состоящий из воздушного конденсатора, площадь пластин которого равна 100 см^2 каждая, и катушки индуктивностью 0,1 мГн, резонирует на волну длиной 10 м. Вычислить расстояние между пластинами конденсатора.

3.115. Индуктивность катушки колебательного контура 1,6 мГн, емкость конденсатора 0,04 мкФ. Максимальное напряжение на конденсаторе 200 В. Чему равен максимальный ток в контуре? Сопротивление контура не учитывать.

3.116. Максимальное напряжение в колебательном контуре, индуктивность катушки которого $5 \cdot 10^{-4}$ Гн, а емкость конденсатора $12 \cdot 10^{-6}$ Ф, равно 12 В. Активное сопротивление контура очень малое. Вычислить действующее значение тока в контуре и максимальное значение магнитного потока в катушке.

3.117. Емкость конденсатора колебательного контура 0,025 мкФ, индуктивность катушки 1,015 Гн. Сопротивление контура не учитывать. Конденсатору контура сообщен заряд $2,5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Написать для данного контура уравнения зависимости разности потенциалов на обкладках конденсатора и силы тока в цепи от времени. Найти значения разности потенциалов и тока в моменты времени, которые равны $T/8$, $T/4$, $T/2$ с.

3.118. Для колебательного контура предыдущей задачи написать уравнение изменения со временем энергии электрического поля, вычислить эти величины в моменты времени $T/8$, $T/4$, $T/2$ с.

3.119. Уравнение зависимости разности потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре имеет вид: $U = 50 \cos(10^4 \pi t)$. Емкость конденсатора равна $9 \cdot 10^{-7}$ Ф. Вычислить период колебаний, индуктивность контура, закон изменения силы тока в цепи, длину волны, которая соответствует этому контуру.

3.120. Уравнение силы тока в колебательном контуре имеет вид: $I = -0,02 \sin(10^3 \pi t)$. Индуктивность контура 1 Гн. Вычислить период колебаний, емкость контура, максимальную разность потенциалов на конденсаторе, максимальную энергию магнитного поля, максимальную энергию электрического поля.

3.121. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 10^{-5} Гн и сопротивлением 14 Ом и конденсатора емкостью 0,002 мкФ. Вычислить логарифмический декремент затухания колебаний. Изменится ли логарифмический декремент затухания колебаний в контуре, если без изменения длины катушки увеличить количество витков в ней в 10 раз?

3.122. Емкость конденсатора колебательного контура равна 7 мкФ, индуктивность катушки — 0,23 Гн, а ее сопротивление 40 Ом. Конденсатору придают первоначальный заряд $5,6 \cdot 10^{-4}$ Кл. Определить период колебаний, которые возникают в контуре, логарифмический декремент затухания колебаний и закон изменения разности потенциалов на обкладках конденсатора.

3.123. Индуктивность катушки колебательного контура $5,07 \cdot 10^{-6}$ Гн, а емкость конденсатора — 0,2 мкФ. При каком логарифмическом декременте затухания разность потенциалов на обкладках конденсатора через 10^{-3} с уменьшится в 3 раза? Чему при этом будет равно сопротивление контура?

3.124. Во сколько раз уменьшится разность потенциалов на обкладках конденсатора за один период колебаний в контуре, если индуктивность катушки равна 10^{-2} Гн, ее сопротивление 2 Ом, а емкость конденсатора 0,405 мкФ?

3.125. Какую мощность потребляет колебательный контур с активным сопротивлением 2,23 Ом для поддержания в нем незатухающих колебаний с амплитудой тока 0,04 А?

3.126. Контур состоит из катушки с индуктивностью $3 \cdot 10^{-5}$ Гн и сопротивлением 1 Ом и конденсатора емкостью 2 нФ. Какую мощность должен потреблять контур, чтобы в нем поддерживать незатухающие колебания с амплитудой 0,5 В?

3.127. Вычислить логарифмический декремент затухания колебаний в контуре, емкость конденсатора которого 2 пФ, а индуктивность $1,5 \cdot 10^4$ Гн, если на поддержание в контуре незатухающих колебаний при максимальном напряжении 0,9 В потребуется мощность 10^{-6} Вт.

3.128. Емкость конденсатора колебательного контура 4 мкФ, индуктивность катушки 0,1 мГн, ее сопротивление 2 Ом. Чему равна добротность контура?

3.129. Добротность колебательного контура равна 10. Вычислить, на сколько процентов отличается частота свободных колебаний контура от частоты собственных колебаний.

3.130. Параметры колебательного контура имеют значения: $C = 4$ мкФ, $L = 0,1$ мГн, $R = 1$ Ом. Найти добротность контура и относительную погрешность при вычислении добротности по приближенной формуле $\theta = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$.

Электромагнитное поле. Электромагнитные волны

3.131. Зарядка плоского конденсатора от источника тока происходит по экспоненциальному закону $q = q_0 \left[1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right]$, где $q_0 = 10$ нКл, $R = 100$ Ом, $C = 20$ мкФ. Найдите зависимость плотности тока смещения от времени и его значение в момент 100 мс. Среда — вакуум. Площадь пластин конденсатора 10 см^2 .

3.132. Пластины плоского конденсатора раздвигаются с постоянной относительной скоростью 2 мм/с . Вычислить силу тока смещения через 5 с после начала движения. Краевые эффекты не учитывать. Диэлектрик между пластинами отсутствует, а их площадь 10 см^2 . Начальное расстояние между пластинами $0,5 \text{ см}$, а начальный заряд на каждой из обкладок 2 нКл . Рассмотреть два случая: а) конденсатор отключен от источника напряжения; б) конденсатор подключен к источнику напряжения.

3.133. Напряжение на плоском конденсаторе при его разрядке на резистор меняется по закону $U = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$, где $U_0 = 100 \text{ В}$, $R = 1 \text{ кОм}$. Расстояние между обкладками конденсатора 2 мм , площадь каждой обкладки 2 см^2 . Среда — вакуум. Найти максимальные значения плотности тока и силы тока смещения.

3.134. В однородной изотропной среде с диэлектрической проницаемостью 2 и магнитной проницаемостью 1 распространяется электромагнитная волна. Максимальное значение напряженности электрического поля волны 50 В/м . Найти амплитуду напряженности магнитного поля и фазовую скорость волны.

3.135. Уравнение плоской электромагнитной волны с магнитной проницаемостью, равной 1 , имеет вид: $E = 10 \sin(6,28 \cdot 10^8 t - 4,19x)$. Вычислить диэлектрическую проницаемость среды и длину волны.

3.136. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны $0,1 \text{ А/м}$. Определить энергию, которую переносит волна через поверхность площадью 1 м^2 , расположенную перпендикулярно к направлению распространения волны, за 1 с . Период волны намного меньше, чем время расчета перенесенной энергии.

3.137. Определить энергию, которую переносит за 1 минуту плоская синусоидальная электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме, через

площадку в 10 см^2 , перпендикулярную к направлению распространения волны, если амплитуда напряженности электрического поля этой волны равна 1 мВ/м .

3.138. Амплитуда напряженности электрического поля в плоской электромагнитной волне равна 10 мВ/м , диэлектрическая проницаемость среды — 12 . Найти амплитуду напряженности магнитного поля в этой волне. Среда — парамагнетик.

3.139. Для условия предыдущей задачи запишите уравнения электромагнитной волны, используя численные значения векторов напряженности электрического и магнитного полей и фазовой скорости распространения волны.

3.140. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна с амплитудой вектора напряженности электрического поля $0,8 \text{ В/м}$. На пути волны расположена поглощающая ее поверхность, которая имеет форму полусферы с радиусом $0,6 \text{ м}$ и повернута своей вершиной в сторону распространения волны. Какую энергию поглощает эта поверхность за 1 с ?

3.141. В некоторой среде распространяется электромагнитная волна с частотой ω . Диэлектрическая проницаемость среды равна 2 , магнитная — 1 . Найти вектор Пойтинга в точке, в которой электрический вектор изменяется по закону $\vec{E} = 10 \cos(\omega t + \alpha) \vec{e}_z$. Амплитуда вектора напряженности магнитного поля имеет вид: $\vec{H}_0 = H_0 \vec{e}_x$.

3.142. Амплитуда напряженности магнитного поля в плоской волне 1 мА/м . Диэлектрическая проницаемость 3 , магнитная — 1 . Найти интенсивность волны.

3.143. Плоская электромагнитная волна с частотой 107 Гц падает на плоский контур так, что вектор \vec{E} перпендикулярен к плоскости контура. Линейные размеры контура незначительны. Вычислить максимальное значение циркуляции вектора напряженности магнитного поля вдоль контура, если его площадь 50 см^2 , а интенсивность волны 1 Вт/м^2 . Среда — вакуум.

3.144. Плоская электромагнитная волна с частотой 106 Гц падает на плоский контур так, что вектор \vec{H} перпендикулярен к плоскости контура. Линейные размеры контура достаточно малы. Вычислить амплитуду ЭДС индукции в контуре, если его площадь 50 см^2 , а интенсивность волны 1 Вт/м^2 . Среда — вакуум.