

53
Ф50

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра прикладной физики и биофизики

Е.И. Бойкова
И.О. Заплатина
С.В. Нескоромный
В.И. Крюк

Ф И З И К А

Программа, методические указания и контрольные задания для
студентов всех специальностей, обучающихся по очной, заочной и
контрактной формам обучения

Часть 2

Екатеринбург
2007



К выполнению контрольных работ по каждому разделу курса физики студент приступает только после изучения материала, соответствующего данному разделу учебной программы, внимательного ознакомления с примерами решения задач, приведенных в данных указаниях.

При выполнении контрольных работ студенту необходимо руководствоваться следующим.

1. Указать основные законы и формулы, на которых базируется решение задачи, дать словесную формулировку этих законов, разъяснить буквенные обозначения, употребляемые при написании формул. Если при решении задачи применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физической величины, то ее следует вывести.

2. Сделать чертеж, поясняющий содержание задачи (в тех случаях, когда это возможно).

3. Решение задачи сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями.

4. Решить задачу в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи.

5. Подставить в окончательную формулу, полученную в результате решения задачи в общем виде, числовые значения, выраженные в единицах системы СИ.

6. Вычислить величины, подставленные в формулу, руководствуясь правилами приближенных вычислений, записать в ответе числовое значение и сокращенное наименование единицы измерения искомой величины.

7. Контрольные работы выполняются только по условиям задач данных указаний.

8. Контрольные работы выполняются в обычной школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения по следующему образцу:

Студент 2602 II курс

Андреев И.П.

25732 (шифр)

Адрес: г. Вологда, ул. Советская, 4, кв. 1

Контрольная работа № 2 по физике

методические указания 2003 года.

9. Для замечаний преподавателей на страницах тетради оставляются поля. Каждая следующая задача должна начинаться с новой страницы. Условия задач переписываются полностью без сокращений.

10. В конце контрольной работы необходимо указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при выполнении задания (название учебника, авторы, год издания). Это делается для того, чтобы

рецензент в случае необходимости мог указать, что следует студенту изучить для завершения контрольной работы.

11. Высылать на рецензию следует одновременно не более одной контрольной работы.

12. После получения из университета прорецензированной работы студент обязан выполнить указания рецензента.

13. Во избежание одних и тех же ошибок очередную работу следует высылать в университет только по получении рецензии на предыдущую работу.

14. В случае если контрольная работа не принята, студент обязан представить ее на повторную рецензию, исключив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с незачтенной работой.

В данном пособии приводятся примеры решения задач, в которых наиболее часто допускаются ошибки при выполнении контрольных работ.

Программа

Электрическое поле в вакууме. Электрические свойства тел. Элементарный заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электрическая постоянная. Электрическое поле. Напряженность поля. Принцип суперпозиции полей. Силовые линии поля. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского-Гаусса. Вычисление напряженности поля различных заряженных тел.

Работа сил электрического поля при перемещении зарядов. Циркуляция вектора напряженности. Потенциал. Связь между напряженностью электрического поля и потенциалом. Потенциал поля точечного заряда. Электрическое поле внутри заряженного проводника. Распределение зарядов в проводниках.

Проводники в электрическом поле. Энергия электрического поля. Проводники в электрическом поле. Емкость проводников. Конденсаторы. Соединение конденсаторов. Энергия системы зарядов. Энергия заряженного проводника. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

Электрическое поле в диэлектриках. Свободные и связанные заряды. Электрический диполь. Электрический момент диполя. Диполь в однородном электрическом поле. Полярные и неполярные молекулы. Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Электрическое смещение.

Постоянный электрический ток. Электрический ток. Плотность тока. Закон Ома для участка однородной цепи. Сопротивление проводников

Источники тока. Электродвижущая сила (э.д.с.). Закон Ома для полной однородной цепи. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Разветвленные цепи. Правила Кирхгофа. Работа и мощность тока. Закон Джоуля - Ленца.

Классическая теория электропроводности металлов. Контактные явления. Элементарная классическая теория электропроводности металлов. Объяснение закона Ома и Джоуля - Ленца на основе данной теории. Границы применимости классической теории электропроводности.

Магнитное поле в вакууме. Магнитное взаимодействие токов. Магнитное поле. Закон Ампера. Магнитная индукция. Силовые линии магнитного поля. Магнитная постоянная. Магнитное поле движущихся зарядов. Сила Лоренца.

Магнитное поле постоянных токов. Закон Био-Савара-Лапласа для элемента тока. Поле прямолинейного и кругового токов. Магнитный момент кругового тока. Циркуляция вектора магнитной индукции. Магнитное поле соленоида. Магнитный поток. Работа перемещения контура с током в магнитном поле.

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях. Движение заряженных частиц в однородном магнитном поле.

Магнитное поле в веществе. Взаимодействие магнитного поля с веществом. Понятие об элементарных токах. Элементарный ток в магнитном поле. Намагничивание вещества. Намагниченность (вектор намагничивания). Магнитная восприимчивость. Магнитная проницаемость. Напряженность магнитного поля.

Электромагнитная индукция. Возникновение электрического поля при изменении магнитного поля. Индукционный ток. Правило Ленца. Э.д.с. индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Явление самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля соленоида. Плотность энергии магнитного поля. Взаимная индукция.

Основные законы и формулы. Электростатика

Закон Кулона:

$$F = q_1 q_2 / (4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2). \quad (1)$$

Напряженность электростатического поля:

$$E = F/q_0. \quad (2)$$

Напряженность поля точечного заряда:

$$E = q / (4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2). \quad (3)$$

Напряженность поля бесконечно длинной заряженной нити:

$$E = \tau / (2\pi\epsilon_0 \epsilon r). \quad (4)$$

Напряженность поля равномерно заряженной плоскости:

$$E = \sigma / (2\epsilon_0 \epsilon). \quad (5)$$

Напряженность поля между двумя равномерно и разноименно заряженными бесконечными параллельными плоскостями:

$$E = \sigma / \epsilon_0 \epsilon. \quad (6)$$

Напряженность поля металлической заряженной сферы радиусом R на расстоянии r от центра сферы:

а) на поверхности сферы ($r = R$):

$$E = q / (4\pi\epsilon_0 \epsilon R^2); \quad (7)$$

б) вне сферы ($r > R$):

$$E = q / (4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2). \quad (8)$$

Смещение электрического поля:

$$D = \epsilon\epsilon_0 E. \quad (9)$$

Работа перемещения заряда в электрическом поле из точки A в точку B :

$$A = q \int_A^B E \, dl \cos(E, dl). \quad (10)$$

$$A = q (\varphi_B - \varphi_A). \quad (11)$$

Потенциал поля точечного заряда:

$$\varphi = q / (4\pi\epsilon_0 \epsilon r). \quad (12)$$

Потенциал электрического поля металлической поллой сферы радиусом R на расстоянии r от центра сферы:

а) на поверхности и внутри сферы ($r \leq R$):

$$\varphi = q / (4\pi\epsilon_0 \epsilon R); \quad (13)$$

б) вне сферы ($r > R$):

$$\varphi = (4\pi\epsilon_0 \epsilon r). \quad (14)$$

Связь между напряженностью и потенциалом поля:

$$E = -d\varphi/dl, \quad E = -\text{grad } \varphi. \quad (15)$$

Сила притяжения между двумя разноименными заряженными обкладками конденсатора:

$$F = \epsilon\epsilon_0 E^2 S / 2. \quad (16)$$

Електроемкость уединенного проводника:

$$C = q / \varphi. \quad (17)$$

Електроемкость сферического конденсатора:

$$C = 4\pi\epsilon_0 \epsilon R. \quad (18)$$

Електроемкость плоского конденсатора:

$$C = \epsilon\epsilon_0 S / d. \quad (19)$$

Електроемкость слоистого конденсатора:

$$C = \epsilon\epsilon_0 S / (d_1/\epsilon_1 + d_2/\epsilon_2 + \dots + d_n/\epsilon_n). \quad (20)$$

Електроемкость батареи параллельно соединенных конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n. \quad (21)$$

Електроемкость батареи последовательно соединенных конденсаторов:

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 + \dots + 1/C_n. \quad (22)$$

Энергия заряженного проводника:

$$W_{\text{Э}} = C\varphi^2/2 = q^2/2C = q\varphi/2. \quad (23)$$

Энергия заряженного плоского конденсатора:

$$W_{\text{Э}} = \epsilon\epsilon_0 E^2 V / 2. \quad (24)$$

Энергия поляризованного диэлектрика:

$$W_{\text{Э}} = (\epsilon - 1)\epsilon_0 E^2 V / 2. \quad (25)$$

Объемная плотность энергии электрического поля:

$$\omega = \epsilon\epsilon_0 E^2 / 2 = ED/2 = D^2/2\epsilon\epsilon_0. \quad (26)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Три точечных заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 1$ нКл расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд Q_4 нужно поместить в центре треугольника, чтобы указанная система зарядов находилась в равновесии?

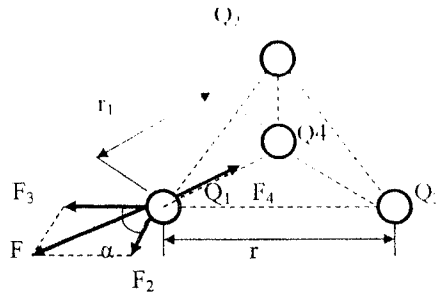


Рис. 1

Заряды, расположенные в вершинах треугольника, находятся в одинаковых условиях. Поэтому достаточно выяснить, какой заряд следует поместить в центре треугольника, чтобы какой-нибудь один из трех зарядов, например Q_1 , находился в равновесии. Заряд Q_4 будет находиться в равновесии, если векторная сумма действующих на него сил равна нулю (см. рис. 1):

$$F_2 + F_3 + F_4 = F + F_4 = 0, \quad (1.1)$$

где F_2, F_3, F_4 - силы, с которыми действуют на заряд Q_1 заряды Q_2, Q_3, Q_4 ; F - равнодействующая сил F_2 и F_3 .

Так как силы F и F_4 направлены по одной прямой в противоположные стороны, то векторное равенство (1.1) можно заменить скалярным равенством $F - F_4 = 0$, откуда

$$F_4 = F.$$

Выразив в последнем равенстве F через F_2 и F_3 и, учитывая, что $F_3 = F_2$, получим

$$F_4 = F_2 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}.$$

Применим закон Кулона (1) и учтем, что $Q_2 = Q_3 = Q_1$, получим

$$Q_1 Q_4 / (4\pi \epsilon_0 r_1^2) = Q_1^2 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)} / (4\pi \epsilon_0 r^2),$$

откуда

$$Q_4 = Q_1 r_1^2 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)} / r^2. \quad (1.2)$$

Из геометрических построений в равностороннем треугольнике следует, что

$$r_1 = (r/2) / (\cos \alpha/2) = r / (2 \cos 30^\circ) = r / \sqrt{3},$$

$$\cos \alpha = \cos 60^\circ = 0,5.$$

С учетом этого формула (1.2) примет вид

$$Q_4 = Q_1 / \sqrt{3}.$$

Подставим сюда числовое значение.

$$\text{Ответ: } Q_4 = 577 \text{ пКл.}$$

Задача 2. Расстояние l между двумя точечными зарядами $Q_1 = 2$ нКл и $Q_2 = -3$ нКл, расположенными в вакууме, равно 20 см. Определить: 1) напряженность E ; 2) потенциал ϕ поля, создаваемого этими зарядами в точке, удаленной от первого заряда на расстояние $r_1 = 15$ см и от второго заряда на $r_2 = 10$ см.

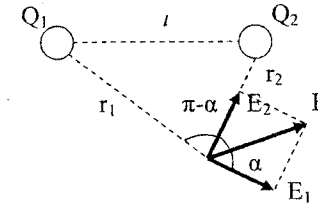


Рис. 2

Дано: $l = 20$ см;
 $Q_1 = 2$ нКл;
 $Q_2 = -3$ нКл;
 $r_1 = 15$ см;
 $r_2 = 10$ см

- 1) E - ?
- 2) ϕ - ?

Согласно принципу суперпозиции для электростатического поля,

$$E = E_1 + E_2, \quad (2.1)$$

где направления векторов показаны на рис.2. Напряженности электростатического поля, создаваемого зарядами Q_1 и Q_2 , определяем по формуле (3). Модуль E находим по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1 E_2 \cos \alpha}, \quad (2.2)$$

где

$$\cos \alpha = (l^2 - r_1^2 - r_2^2) / (2 r_1 r_2). \quad (2.3)$$

Подставив напряженности E_1 и E_2 , найденные по формуле (3), и $\cos \alpha$ в формуле (2.2), найдем искомую напряженность в точке А:

$$E = 1/(4\pi\epsilon_0) \sqrt{\frac{Q_1^2}{r_1^4} + \frac{2|Q_1||Q_2|}{r_1^2 r_2^2} \cos \alpha + \frac{Q_2^2}{r_2^4}}.$$

Согласно принципу суперпозиции, потенциал результирующего поля

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2, \quad (2.4)$$

где φ_1 и φ_2 - потенциалы полей, создаваемых зарядами Q_1 и Q_2 в соответствии с формулой (12).

Подставив найденные значения потенциалов в (2.4), получим

$$\varphi = 1/(4\pi\epsilon_0) [Q_1 / r_1 + Q_2 / r_2].$$

Ответ: 1) $E = 3$ кВ/м; 2) $\varphi = -150$ В.

Задача 3. Тонкий стержень длиной $l = 20$ см несет равномерно распределенный заряд. На продолжении оси стержня на расстоянии $a = 10$ см от ближайшего конца находится точечный заряд $Q_1 = 40$ нКл, который взаимодействует со стержнем с силой $F = 6$ мкН. Определить линейную плотность τ заряда на стержне.

Дано: $l = 20$ см; $a = 10$ см; $Q_1 = 40$ нКл; $F = 6$ мкН

Сила взаимодействия заряженного стержня с точечным зарядом зависит от линейной плотности заряда на стержне. При вычислении силы следует иметь в виду, что заряд на стержне не является точечным, поэтому закон Кулона непосредственно применить нельзя. В этом случае можно поступить

следующим образом: выделим на стержне малый участок dr с зарядом $dQ = \tau dr$. Этот заряд можно рассматривать как точечный, тогда согласно закону Кулона (1)

$$dF = Q_1 \tau dr / (4\pi\epsilon_0 r^2).$$

Интегрируя это выражение в пределах от a до $(a+l)$, получим

$$F = \frac{Q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+l} \frac{dr}{r^2} = \frac{Q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+l} \right) = \frac{Q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0 a(a+l)},$$

откуда интересующая нас линейная плотность заряда

$$\tau = \frac{4\pi\epsilon_0 a(a+l) F}{Q_1 l}.$$

Подставим числовые значения величин в полученную формулу и произведем вычисления.

Ответ: $\tau = 2,5$ нКл/м.

Задача 4. На пластинах плоского воздушного конденсатора находится заряд $Q = 10$ нКл. Площадь S каждой пластины конденсатора равна 100 см². Определить силу, с которой притягиваются пластины. Поле между пластинами считать однородным.

Дано: $Q = 10$ нКл;
 $S = 100$ см²;
 $\epsilon = 1$

$F = ?$

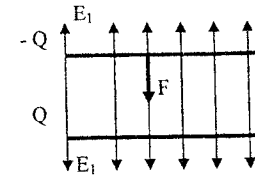


Рис. 3

Заряд Q одной пластины находится в поле напряженностью E_1 , созданном зарядом другой пластины конденсатора. Следовательно, на заряд действует сила F (см. рис.3):

$$F = QE_1. \quad (4.1)$$

В соответствии с (5),

$$E_1 = \sigma / 2\epsilon_0 = Q / 2\epsilon_0 S, \quad (4.2)$$

где σ - поверхностная плотность заряда пластины. Выражение (4.1) с учетом (4.2) примет вид

$$F = Q^2 / 2\epsilon_0 S. \quad (4.3)$$

Ответ: $F = 560$ мкН.

Задача 5. Электростатическое поле создается бесконечно длинным цилиндром радиусом $R = 7$ мм, равномерно заряженным с линейной плотностью $\tau = 15$ нКл/м. Определить: 1) напряженность E поля в точках,

лежащих на расстояниях $r_1 = 5$ мм и $r_2 = 1$ см от оси цилиндра; 2) разность потенциалов между двумя точками этого поля, лежащими на расстояниях $r_3 = 1$ см и $r_4 = 2$ см от поверхности цилиндра, в средней его части.

Дано: $R = 7$ мм;
 $\tau = 15$ нКл/м;
 $r_1 = 5$ мм;
 $r_2 = r_3 = 1$ см;
 $r_4 = 2$ см

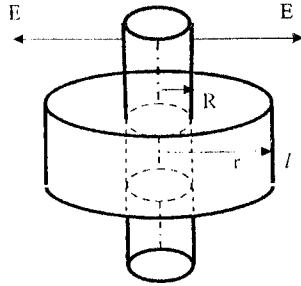


Рис.4

$E_1, E_2 - ?$
 $\varphi_3 - \varphi_4 - ?$

Вспользуемся теоремой Остроградского - Гаусса (ТОГ):

$$\int_S E dS = \int_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_i Q_i, \quad (5.1)$$

взяв в качестве замкнутой поверхности коаксиальный заряженный цилиндр радиусом r и высотой l (см. рис. 4). Если $r < R$, то замкнутая поверхность зарядов внутри не содержит, поэтому в этой области $E = 0$. Поток E сквозь торцы коаксиального цилиндра равен нулю (торцы цилиндра параллельны линиям напряженности), а сквозь боковую поверхность - $2\pi r l E$. По ТОГ, при $r_2 > R$

$2\pi r_2 l E = \tau l / \epsilon_0$, откуда

$$E = \tau / (2\pi \epsilon_0 r_2). \quad (5.2)$$

Так как в соответствии с (15) $E = - \text{grad } \varphi$, то полученная формула для поля с осевой симметрией запишется в виде

$$E = - \frac{d\varphi}{dr} \text{ или } d\varphi = -E dr. \quad (5.3)$$

Подставим в (5.3) выражение для напряженности поля, создаваемого бесконечно длинным цилиндром, получим

$$d\varphi = -\tau dr / (2\pi \epsilon_0 r). \quad (5.4)$$

Проинтегрируем это выражение и найдем искомую разность потенциалов:

$$\varphi_3 - \varphi_4 = \int_{r_3}^{r_4} \frac{\tau dr}{2\pi \epsilon_0 r} = \frac{\tau}{2\pi \epsilon_0} \ln \frac{r_4 + R}{r_3 + R}. \quad (5.5)$$

Ответ: 1) $E_1 = 0; E_2 = 27$ кВ/м,
 2) $\varphi_3 - \varphi_4 = 125$ В.

Задача 6. Определить ускоряющую разность потенциалов, которую должен пройти в электрическом поле электрон, чтобы его скорость возросла от 1 Мм/с до 5 Мм/с.

Дано: $v_1 = 1$ Мм/с;
 $v_2 = 5$ Мм/с;
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;
 $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ кг

Работа, совершаемая силами электрического поля при перемещении электрона из точки 1 в точку 2, равна

$$A = e(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (6.1)$$

С другой стороны, она равна изменению кинетической энергии электрона:

$\varphi_1 - \varphi_2 - ?$

$$A = T_2 - T_1 = m v_2^2 / 2 - m v_1^2 / 2. \quad (6.2)$$

Приравняв (6.1) и (6.2), найдем искомую ускоряющую разность потенциалов:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = m (v_2^2 - v_1^2) / 2e.$$

Ответ: $\varphi_1 - \varphi_2 = 68,3$ В.

Задача 7. Точечный заряд 10^{-8} Кл находится на расстоянии 0,5 м от бесконечно протяженной плоскости, равномерно заряженной с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 4 \cdot 10^{-5}$ Кл/м². Какую работу надо совершить, чтобы приблизить заряд на расстояние 0,2 м?

Дано: $\sigma = 4 \cdot 10^{-5}$ Кл/м²;
 $q = 10^{-8}$ Кл;
 $r_1 = 0,5$ м;
 $r_2 = 0,2$ м.

Предположим, что плоскость неподвижна, а точечный заряд перемещается в электростатическом поле, созданном равномерно заряженной плоскостью.

$A - ?$

Работа сил электрического поля определяется по формуле (11), φ_1 и φ_2 - соответственно потенциалы электрического поля, созданного бесконечно протяженной заряженной плоскостью в точках 1 и 2.

В нашем случае поле плоскости однородное. Потенциал однородного электрического поля с напряженностью E определяется по формуле

$$\varphi = -Er,$$

где r - расстояние от рассматриваемой точки поля до плоскости; $E = \sigma / (2\epsilon_0\epsilon)$ - напряженность электрического поля бесконечной, равномерно заряженной плоскости, тогда

$$A = qE(r_1 - r_2) = q\sigma (r_1 - r_2) / 2\epsilon_0\epsilon.$$

Ответ: $A = 6,8$ мДж.

Задача 8. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов 1,5 кВ. Площадь пластин 150 см и расстояние между ними 5 мм. После отключения конденсатора от источника напряжения в пространство между пластинами внесли стекло ($\epsilon_2 = 7$). Определить: 1) разность потенциалов между пластинами после внесения диэлектрика; 2) емкость конденсатора до и после внесения диэлектрика; 3) поверхностную плотность заряда на пластинах до и после внесения диэлектрика.

Дано: $U_1 = 1,5$ кВ; $S = 150$ см²; $d = 5$ мм; $\epsilon_1 = 1$; $\epsilon_2 = 7$

После отключения конденсатора от источника напряжения заряд остается неизменным. Так как $E = \sigma / (\epsilon_0\epsilon) = U/d$, то до внесения диэлектрика $\sigma d = U_1\epsilon_0\epsilon_1$, а после внесения диэлектрика $\sigma d = U_2\epsilon_0\epsilon_2$, поэтому

$$U_2 = \epsilon_1 U_1 / \epsilon_2.$$

U_2 - ?; C_1, C_2 - ?
 σ_1, σ_2 - ?

Емкость конденсатора до и после внесения диэлектрика:

$$C_1 = \epsilon_0\epsilon_1 S/d \text{ и } C_2 = \epsilon_0\epsilon_2 S/d.$$

Так как $q = \text{Const}$, то поверхностная плотность заряда на пластинах до и после внесения диэлектрика:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = Q/S = C_1 U_1 / S = C_2 U_2 / S.$$

Ответ: 1) $U_2 = 214$ В; 2) $C_1 = 26,5$ пФ, $C_2 = 186$ пФ; 3) $\sigma = 2,65$ мкКл/м².

Задача 9. Конденсатор емкостью 3 мкФ был заряжен до разности потенциалов 40 В. После отключения от источника тока конденсатор соединили параллельно с другим незаряженным конденсатором емкостью 5 мкФ. Какая энергия израсходуется на образование искры в момент присоединения второго конденсатора?

Дано: $C_1 = 3$ мкФ;
 $C_2 = 5$ мкФ;
 $U_1 = 40$ В

Энергия W' , израсходованная на образование искры, $W' = W_1 - W_2$, (9.1)
где W_1 - энергия, которой обладал первый конденсатор до присоединения к нему второго конденсатора; W_2 - энергия, которую имеет батарея, составленная из первого и второго конденсаторов.

W' - ?

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле

$$W = CU^2 / 2, \quad (9.2)$$

где C - емкость конденсатора или батареи конденсаторов; U - разность потенциалов на обкладках конденсаторов.

Выразив в равенстве (9.1) энергии W_1 и W_2 по формуле (9.2) и учитывая, что общая емкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов, получим

$$W' = C_1 U_1^2 / 2 - (C_1 + C_2) U_2^2 / 2, \quad (9.3)$$

где U_2 - разность потенциалов на зажимах батареи конденсаторов. Учитывая, что заряд после присоединения второго конденсатора остался прежним, выразим разность потенциалов U_2 :

$$U_2 = Q / (C_1 + C_2) = C_1 U_1 / (C_1 + C_2). \quad (9.4)$$

Подставив выражение (9.4) в формулу (9.3), получим

$$W' = C_1 U_1^2 / 2 - (C_1 + C_2) C_1^2 U_1^2 / [2(C_1 + C_2)^2]. \quad (9.5)$$

Преобразовав (9.5), найдем

$$W' = C_1 C_2 U_1^2 / [2(C_1 + C_2)].$$

Ответ: $W' = 1,5$ мДж.

Контрольная работа 3

Каждый студент должен решить восемь задач того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой его шифра.

Вариант №	№ задач							
0	301	316	329	331	345	351	370	373
1	302	312	330	333	342	352	369	373
2	303	318	328	332	349	353	368	372
3	304	311	327	335	350	354	367	378
4	305	313	325	334	348	355	366	371
5	306	317	326	336	347	356	365	376
6	307	319	324	338	346	357	364	380
7	308	314	323	330	337	344	358	363
8	309	315	321	339	341	359	362	377
9	310	320	322	340	343	360	361	379

Задачи

301. Сила гравитационного притяжения двух водяных, одинаково заряженных капель, радиусами 0,1 мм, уравнивается кулоновской силой отталкивания. Определить заряд капель. Плотность воды равна 1 г/см^3 .

302. Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускаются в керосин плотностью $0,8 \text{ г/см}^3$. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине не изменился? Диэлектрическая проницаемость керосина $\epsilon = 2$.

303. В вершинах равностороннего треугольника находятся одинаковые, положительные заряды по 2 нКл каждый. Какой отрицательный заряд необходимо поместить в центр треугольника, чтобы сила притяжения с его стороны уравновесила силы отталкивания положительных зарядов?

304. В вершинах квадрата расположены равные положительные заряды $2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$. В центре квадрата помещен отрицательный заряд. Определить числовое значение этого заряда, если он уравнивает силы взаимного отталкивания зарядов, расположенных в вершинах квадрата.

305. Точечные заряды $10,4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ и $-2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ находятся на расстоянии 20 см друг от друга. На каком расстоянии от второго заряда необходимо поместить третий заряд, чтобы он был в равновесии?

306. Два шарика одинакового объема, обладающие массой $0,6 \cdot 10^{-3} \text{ г}$ каждый, подвешены на шелковых нитях длиной 0,4 м так, что их поверхности

соприкасаются. Угол, на который разошлись нити при сообщении шарикам одинаковых зарядов, равен 60° . Найти заряд.

307. Два положительных точечных заряда Q и $9Q$ закреплены на расстоянии 100 см друг от друга. Определить, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить третий заряд так, чтобы он находился в равновесии. Указать, какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещения заряда возможны только вдоль прямой, проходящей через закрепленные заряды.

308. Четыре одинаковых заряда по 40 нКл каждый закреплены в вершинах квадрата со стороной 10 см. Найти силу, действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

309. На расстоянии 20 см находятся два точечных заряда - 50 нКл и 100 нКл. Определить силу, действующую на заряд - 10 нКл, равноудаленный от обоих зарядов на расстояние $d = 20 \text{ см}$.

310. Три одинаковых точечных заряда по 2 нКл каждый находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см. Определить направление и величину силы, действующей на один из зарядов со стороны двух других.

311. Определить напряженность электростатического поля в точке А, расположенной вдоль прямой, соединяющей заряды 10 нКл и - 8 нКл и находящейся на расстоянии 8 см от отрицательного заряда. Расстояние между зарядами 20 см.

312. Два точечных заряда 4 нКл и - 2 нКл находятся на расстоянии 60 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами. Чему равна напряженность, если второй заряд положительный?

313. Определить напряженность поля, создаваемого диполем с электрическим моментом $p = 10^{-9} \text{ (Кл} \cdot \text{м)}$ на расстоянии 25 см от центра диполя в направлении, перпендикулярном оси диполя.

314. Расстояние между двумя зарядами 2 нКл и - 2 нКл равно 20 см. Определить напряженность поля, созданного этими зарядами в точке, находящейся на расстоянии 15 см от положительного и 10 см от отрицательного.

315. В вершинах квадрата со стороной 5 см находятся одинаковые, положительные заряды 2 нКл. Определить напряженность электростатического поля: 1) в центре квадрата; 2) в середине одной из сторон квадрата.

316. В вершинах равностороннего треугольника со стороной 4 см находятся равные заряды по $3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$. Определить напряженность поля в точке, лежащей на середине стороны треугольника.

317. Расстояние между двумя точечными зарядами $3,3 \cdot 10^{-7}$ Кл и $-3,3 \cdot 10^{-7}$ Кл равно 1 см. Найти напряженность поля в точке, находящейся на серединном перпендикуляре к отрезку, соединяющему оба заряда, на расстоянии 1 см от основания перпендикуляра.

318. Расстояние между точечными зарядами $5 \cdot 10^{-8}$ Кл и $8 \cdot 10^{-7}$ Кл равно 40 см. Найти напряженность поля в точке, находящейся посередине между зарядами.

319.

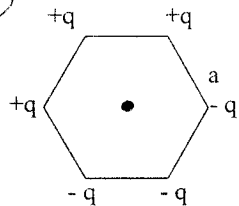


Рис. 5

Определить напряженность поля в центре правильного шестиугольника со стороной a .

320.

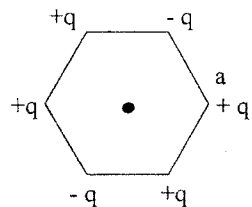


Рис. 6

Определить напряженность поля в центре правильного шестиугольника со стороной a .

321. Кольцо из тонкой проволоки радиусом 5 см равномерно заряжено с линейной плотностью 14 нКл/м. Определить напряженность поля на оси, проходящей через центр кольца, в точке А, удаленной на расстояние 10 см от центра кольца.

322. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью 1,5 нКл/см. На протяжении оси стержня на расстоянии 12 см от его конца находится точечный заряд 0,2 мкКл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

323. Определить напряженность поля, создаваемого зарядом, равномерно распределенным по тонкому прямому стержню с линейной плотностью заряда 200 нКл/м, в точке, лежащей на продолжении оси стержня на расстоянии 20 см от ближайшего конца. Длина стержня 40 см.

324. На продолжении оси тонкого прямого стержня, равномерно заряженного с линейной плотностью заряда 15 нКл/см на расстоянии 40 см от конца стержня, находится точечный заряд 10 мкКл. Второй конец стержня уходит в бесконечность. Определить силу, действующую на заряд.

325. По тонкому кольцу радиусом 10 см равномерно распределен заряд 20 нКл. Какова напряженность поля в точке, находящейся на оси кольца на расстоянии 20 см от центра кольца?

326. На тонком кольце равномерно распределен заряд с линейной плотностью 0,2 нКл/см. Радиус кольца 15 см. На перпендикуляре к плоскости кольца, восстановленном из его середины, находится точечный заряд 10 нКл. Определить силу, действующую на точечный заряд со стороны заряженного кольца, если он удален от центра кольца на 20 см.

327. По тонкой нити, изогнутой по дуге окружности радиуса 10 см, равномерно распределен заряд 20 нКл. Определить напряженность поля в точке, совпадающей с центром кривизны дуги, если длина нити равна четверти длины окружности.

328. Тонкое полукольцо радиусом 20 см несет равномерно распределенный заряд 2 мкКл. Определить силу, действующую на точечный заряд 40 нКл, расположенный в центре кривизны полукольца.

329. Два длинных тонких, равномерно заряженных с линейной плотностью 1 мкКл/м, стержня расположены перпендикулярно друг другу так, что точка пересечения их осей находится на расстоянии 10 см и 15 см от ближайших концов стержней. Найти силу, действующую на заряд 10 нКл, помещенный в точку пересечения осей стержней.

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

331. На некотором расстоянии от бесконечной, равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью $0,1$ нКл/см² расположена круглая пластинка. Плоскость пластинки составляет с линиями напряженности угол 30° . Определить поток вектора напряженности через эту пластинку, если ее радиус равен 15 см.

332. Определить поток вектора напряженности электростатического поля через сферическую поверхность, охватывающую точечные заряды 5 нКл и -2 нКл.

333. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно с поверхностными плотностями соответственно 2 нКл/м² и 4 нКл/м². Определить напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей.

334. Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, заряженными равномерно разноименными зарядами с поверхностной плотностью 1 нКл/м^2 и 2 нКл/м^2 . Определить напряженность электростатического поля: 1) между плоскостями; 2) за пределами плоскостей.

335. На металлической сфере радиусом 15 см находится заряд 2 нКл . Определить напряженность электростатического поля: 1) на расстоянии 10 см от центра сферы; 2) на поверхности сферы; 3) на расстоянии 20 см от центра сферы.

336. Поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами радиусами 5 см и 8 см . Заряды сфер соответственно равны 2 нКл и -1 нКл . Определить напряженность электростатического поля в точках, лежащих от центра сфер на расстоянии 3 см , 6 см , 10 см .

337. Длинная, прямая, тонкая проволока несет равномерно распределенный заряд. Вычислить линейную плотность заряда, если напряженность поля на расстоянии $0,5 \text{ м}$ от проволоки против ее середины 2 В/см .

338. С какой силой, приходящейся на единицу площади, отталкиваются две одноименно заряженные, бесконечно протяженные плоскости с одинаковой поверхностной плотностью заряда 2 мКл/м^2 ?

339. Определить напряженность поля, создаваемого тонким длинным стержнем, равномерно заряженным с линейной плотностью 20 мКл/м в точке, находящейся на расстоянии 2 см от стержня, вблизи его середины.

340. Параллельно бесконечной плоскости, заряженной с поверхностной плотностью заряда 4 мКл/м^2 , расположена бесконечно длинная прямая нить, заряженная с линейной плотностью 100 нКл/м . Определить силу, действующую со стороны плоскости на отрезок нити длиной 1 м .

341. Под действием электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости точечный заряд 1 нКл переместился вдоль силовой линии на расстояние 1 см ; при этом совершена работа 5 мкДж . Определить поверхностную плотность заряда на плоскости.

342. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной плоскостью с поверхностной плотностью 10 нКл/м^2 . Какую работу надо совершить для того, чтобы перенести электрон вдоль линии напряженности с расстояния 2 см до 1 см ?

343. Электростатическое поле создается положительно заряженной бесконечной нитью с линейной плотностью 1 нКл/см . Какую работу совершит электрон, приблизившись под действием поля к нити вдоль линии напряженности с расстояния $1,5 \text{ см}$ до 1 см ?

344. Одинаковые заряды по 100 нКл каждый расположены в вершинах квадрата со стороной 10 см . Определить потенциальную энергию этой системы.

345. В бороской модели атома водорода электрон движется по круговой орбите радиусом $52,8 \text{ пм}$, в центре которой находится протон. Определить: 1) скорость электрона на орбите; 2) потенциальную энергию электрона в поле ядра, выразив ее в электрон-вольтах.

346. Кольцо радиусом 5 см из тонкой проволоки несет равномерно распределенный заряд 10 нКл . Определить потенциал электростатического поля: 1) в центре кольца; 2) на оси, проходящей через центр кольца, в точке, удаленной на расстояние 10 см от центра кольца.

347. На кольце с внутренним радиусом 80 см и внешним - 1 м равномерно распределен заряд 10 нКл . Определить потенциал в центре кольца.

348. Металлический шар радиусом 5 см несет заряд 10 нКл . Определить потенциал электростатического поля: 1) на поверхности шара; 2) на расстоянии 2 см от его поверхности. Построить график зависимости $\varphi(r)$.

349. Полый шар несет на себе равномерно распределенный заряд. Определить радиус шара, если потенциал в центре шара равен 200 В , а в точке, лежащей на расстоянии 50 см от центра, - 40 В .

350. В поле заряда $2,223 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ перемещается заряд $3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$. Вычислить работу, совершаемую полем, если перемещение происходило между точками с напряженностью 400 и $2 \cdot 10^4 \text{ В/м}$.

351. Электрон с начальной скоростью 3 Мм/с влетел в однородное электрическое поле напряженностью 150 В/м . Вектор начальной скорости перпендикулярен линиям напряженности электрического поля. Найти: 1) силу, действующую на электрон; 2) ускорение, приобретаемое электроном; 3) скорость электрона через $0,1 \text{ мкс}$.

352. Тонкая квадратная рамка равномерно заряжена с линейной плотностью заряда 200 нКл/м . Определить потенциал поля в точке пересечения диагоналей.

353. Пылинка массой 20 мкг , несущая на себе заряд 40 нКл , влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов 200 В пылинка имела скорость 10 м/с . Определить скорость пылинки до того, как она влетела в поле.

354. Электрон, обладавший кинетической энергией 10 эВ , влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов 8 В ?

355. Найти отношение скоростей ионов Cu^{++} и K^+ , прошедших одинаковую разность потенциалов.

356. Электрон с энергией 400 эВ (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной

сферы радиусом 10 см. Определить минимальное расстояние, на которое сможет приблизиться электрон к поверхности сферы, если ее заряд равен -10 нКл .

357. Электрон, прошедший в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость 105 м/с. Расстояние между пластинами 8 мм. Найти: 1) разность потенциалов между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах.

358. Пылинка массой 5 нг, несущая на себе 10 электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов 1 МВ. Какова кинетическая энергия пылинки? Какую скорость приобрела пылинка?

359. Ион атома лития Li^+ прошел разность потенциалов 400 В, ион атома натрия Na^+ - разность потенциалов 300 В. Найти отношение скоростей ионов.

360. При бомбардировке неподвижного ядра калия α - частицей сила отталкивания между ними достигла 100 Н. На какое наименьшее расстояние приблизилась α - частица к ядру атома калия? Какую скорость имела α - частица вдали от ядра? Влиянием электронной оболочки атома пренебречь.

361. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено парафином ($\epsilon = 2$). Расстояние между пластинами 8,85 мм. Какую разность потенциалов необходимо подать на пластины, чтобы поверхностная плотность связанных зарядов на парафине составляла $0,1 \text{ нКл/см}^2$?

362. Расстояние между пластинами плоского конденсатора составляет 5 мм. После зарядки конденсатора до разности потенциалов 500 В между пластинами конденсатора вдвинули стеклянную пластинку ($\epsilon = 7$). Определить: 1) диэлектрическую восприимчивость стекла; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на стеклянной пластинке.

363. Определить поверхностную плотность связанных зарядов на слюдяной пластинке ($\epsilon = 7$) толщиной 1 мм, служащей изолятором плоского конденсатора, если разность потенциалов между пластинами конденсатора 300 В.

364. Между пластинами плоского конденсатора помещены два слоя диэлектрика - слюдяная пластинка ($\epsilon_1 = 7$) толщиной 1 мм и парафин ($\epsilon_2 = 2$) толщиной 0,5 мм. Определить: 1) напряженности электростатических полей в слоях диэлектрика; 2) электрическое смещение, если разность потенциалов между пластинами конденсатора 500 В.

365. Расстояние между пластинами плоского конденсатора составляет 1 см, разность потенциалов 200 В. Определить поверхностную плотность связанных зарядов эбонитовой пластинки ($\epsilon = 3$) толщиной 8 мм, помещенной на нижнюю пластину конденсатора.

366. Расстояние между пластинами плоского конденсатора 5 мм, разность потенциалов 1,2 кВ. Определить: 1) поверхностную плотность

заряда на пластинах конденсатора; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на диэлектрике, если известно, что диэлектрическая восприимчивость диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами, $\chi = 1$.

367. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом ($\epsilon = 7$). Расстояние между пластинами 5 мм, разность потенциалов 1 кВ. Определить: 1) напряженность поля в стекле; 2) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 3) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле.

368. Определить расстояние между пластинами плоского конденсатора, если между ними приложена разность потенциалов 150 В, причем площадь каждой пластины 100 см^2 , ее заряд 10 нКл. Диэлектрик - слюда ($\epsilon = 7$).

369. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов 500 В. Площадь пластин 200 см^2 , расстояние между ними 1,5 мм. После отключения конденсатора от источника напряжения в пространство между пластинами внесли парафин ($\epsilon = 2$). Определить разность потенциалов между пластинами после внесения диэлектрика. Определить также емкости конденсатора до и после внесения диэлектрика.

370. Плоский конденсатор с площадью пластины 22 см^2 имеет в качестве диэлектрика стекло с нанесенным на его поверхность парафином. Стекло имеет толщину 1,4 мм, парафин 4 мм. Определить емкость конденсатора и падение потенциала в каждом слое, если разность потенциалов на пластинах 1 кВ.

371. Сплошной эбонитовый шар ($\epsilon = 3$) радиусом 5 см заряжен равномерно с объемной плотностью $\rho = 10 \text{ нКл/м}^3$. Определить энергию электростатического поля, заключенную в окружающем шар пространстве.

372. Сплошной шар из диэлектрика радиусом 5 см заряжен равномерно с объемной плотностью $\rho = 10 \text{ нКл/м}^3$. Определить энергию электростатического поля, заключенную в окружающем шар пространстве.

373. Шар, погруженный в масло ($\epsilon = 2,2$), имеет поверхностную плотность заряда $\sigma = 1 \text{ мкКл/м}^2$ и потенциал 500 В. Определить: 1) радиус шара; 2) заряд шара; 3) емкость шара; 4) энергию шара.

374. В однородное электростатическое поле напряженностью 700 В/м перпендикулярно полю поместили стеклянную пластинку ($\epsilon = 7$) толщиной 1,5 мм и площадью 200 см^2 . Определить: 1) поверхностную плотность связанных зарядов на стекле; 2) энергию электростатического поля, сосредоточенную в пластине.

375. Плоский воздушный конденсатор емкостью 10 пФ заряжен до разности потенциалов 500 В. После отключения конденсатора от источника

напряжения расстояние между пластинами конденсатора было увеличено в 3 раза. Определить: 1) разность потенциалов на обкладках конденсатора после их раздвижения; 2) работу внешних сил по раздвижению пластин.

376. К пластинам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов 500 В. Площадь пластин 200 см^2 , расстояние между ними 1,5 мм. Пластины раздвинули до расстояния 15 мм. Найти энергию конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник напряжения перед раздвижением: 1) отключен; 2) не отключен.

377. Расстояние между пластинами плоского конденсатора 2 мм, разность потенциалов 600 В. Заряд каждой пластины 40 нКл. Определить энергию поля конденсатора и силу взаимного притяжения пластин.

378. Два металлических шарика радиусами 5 см и 10 см имеют: первый - заряд 40 нКл, второй - заряд - 20 нКл. Найти энергию, которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.

379. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектриков: слоем стекла толщиной 0,2 см и слоем парафина толщиной 0,3 см. Разность потенциалов между обкладками 300 В. Определить энергию поля конденсатора.

380. Плоский конденсатор с площадью пластин 200 см^2 каждая заряжен до разности потенциалов 2 кВ. Расстояние между пластинами 2 см. Диэлектрик — стекло. Определить энергию поля конденсатора и плотность энергии поля.

Постоянный ток. Магнетизм

Плотность тока: $j = dI/dS.$ (27)

Закон Ома для участка цепи, не содержащего э.д.с.: $I = U/R.$ (28)

Закон Ома для полной цепи: $I = \varepsilon/(R + r).$ (29)

Закон Ома в дифференциальной форме: $j = \gamma E = E/\rho.$ (30)

Закон Джоуля-Ленца: $A = Q = I^2 R t = U^2 t/R = I U t.$ (31)

Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме: $\omega = \gamma E^2.$ (32)

Термоэлектродвижущая сила (α - удельная термо-э.д.с.): $\varepsilon = \alpha \Delta T.$ (33)

Сопротивление проводника: $R = \rho l / S.$ (34)

Удельная электропроводность: $\gamma = 1/\rho.$ (35)

Зависимость удельного сопротивления от температуры: $\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t).$ (36)

Полная мощность, выделяющаяся в цепи: $P = I^2 R = \varepsilon^2/(R + r).$ (37)

Коэффициент полезного действия источника тока: $\eta = P_{\text{пол}}/P = R/(R + r).$ (38)

Законы Кирхгофа:

$$\sum_{k=1}^{k=n} I_k = 0 ; \quad (39)$$

$$\sum_{k=1}^{k=n} I_k R_k = \sum_{k=1}^{k=n} \mathcal{E}_k . \quad (40)$$

Плотность электрического тока в газе и электролите:

$$j = qn_0(U_+ + U_-)\epsilon . \quad (41)$$

Связь магнитной индукции В с напряженностью Н магнитного поля:

$$B = \mu\mu_0 H . \quad (42)$$

Закон Био-Савара-Лапласа:

$$dB = \mu\mu_0 I \sin\alpha \, dl / 4\pi r^2 \quad (43)$$

Магнитная индукция в центре кругового тока:

$$B = \mu\mu_0 I / 2R . \quad (44)$$

Магнитная индукция на оси кругового тока:

$$B = \mu\mu_0 R^2 I / 2(R^2 + h^2)^{3/2} \quad (45)$$

Магнитная индукция поля прямого тока:

$$B = \mu\mu_0 I / 2\pi r_0 . \quad (46)$$

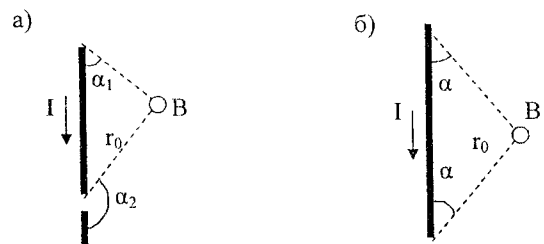


Рис. 7

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током (рис. 7, а):

$$B = \mu\mu_0 I (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2) / 4\pi r_0 . \quad (47)$$

Магнитная индукция поля при симметричном расположении концов провода (рис. 7, б):

$$B = \mu\mu_0 I \cos\alpha / 2\pi r_0 . \quad (48)$$

Магнитная индукция поля соленоида:

$$B = \mu\mu_0 n I . \quad (49)$$

Закон Ампера:

$$F = I B / \sin\alpha . \quad (50)$$

Сила взаимодействия параллельных проводов с током:

$$F = \mu\mu_0 I_1 I_2 / 2\pi d . \quad (51)$$

Вращательный момент, действующий на контур с током, помещенный в однородное магнитное поле:

$$M = \rho B \sin\alpha . \quad (52)$$

Потенциальная энергия контура с током в магнитном поле:

$$\Pi = - \rho_m B \sin\alpha . \quad (53)$$

Магнитный момент контура с током:

$$\rho_m = IS . \quad (54)$$

Сила Лоренца:

$$F = qv B \sin\alpha . \quad (55)$$

Формула Лоренца:

$$F = qE + qv B \sin\alpha . \quad (56)$$

Поток вектора магнитной индукции через площадку dS:

$$d\Phi = B \cos\alpha \, dS . \quad (57)$$

Поток вектора магнитной индукции через произвольную поверхность:

$$\Phi_B = \int_S \mathbf{B}_n \cdot d\mathbf{S}. \quad (58)$$

Потокосцепление:

$$\Psi_B = \mu\mu_0 N^2 IS/l. \quad (59)$$

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле:

$$dA = Id\Phi. \quad (60)$$

Закон Фарадея:

$$\varepsilon_1 = -d\Phi/dt. \quad (61)$$

Э.д.с. индукции, возникающая во вращающейся в магнитном поле рамке с током:

$$\varepsilon_1 = BS\omega \sin\omega t. \quad (62)$$

Магнитный поток в замкнутом контуре:

$$\Phi = LI. \quad (63)$$

Э.д.с. самоиндукции:

$$\varepsilon_s = -LdI/dt. \quad (64)$$

Индуктивность соленоида (тороида):

$$L = \mu\mu_0 N^2 S/l. \quad (65)$$

Энергия магнитного поля замкнутого контура с током:

$$W = LI^2/2. \quad (66)$$

Объемная плотность энергии однородного магнитного поля длинного соленоида:

$$\omega = B^2/2 \mu\mu_0 = BH/2. \quad (67)$$

Примеры решения задач

Задача 1. Потенциометр с сопротивлением 100 Ом подключен к батарее, э.д.с. которой 150 В и внутреннее сопротивление 50 Ом. Определить показания вольтметра с сопротивлением 500 Ом, соединенного с одной из клемм потенциометра и подвижным контактом, установленным посередине потенциометра. Какова разность потенциалов между теми же точками потенциометра при отключении вольтметра?

Дано: $R = 100$ Ом;
 $\varepsilon = 150$ В;
 $r_0 = 50$ Ом;
 $r_v = 500$ Ом;

$U_1 = ?$ $U_2 = ?$

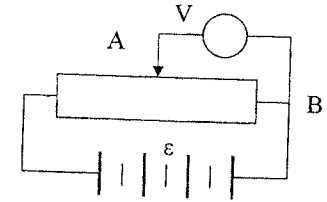


Рис. 8

Показания вольтметра U_1 , подключенного к точкам А и В, определяются по формуле

$$U_1 = I_1/r_1, \quad (1.1)$$

где I_1 - ток в неразветвленной части цепи; r_1 - сопротивление параллельно соединенным вольтметра и половины потенциометра.

Ток I_1 найдем по формуле (29):

$$I_1 = \varepsilon/(r_B + r_0),$$

где r_B - сопротивление внешней цепи.

Внешнее сопротивление есть сумма двух сопротивлений:

$$r_B = R/2 + r_1. \quad (1.2)$$

Сопротивление параллельного соединения найдем по формуле

$$1/r_1 = 1/r_v - 2/R, \quad (1.3)$$

откуда

$$r_1 = R r_v / (R + 2 r_v). \quad (1.4)$$

Подставив в (1.4) числовые значения, найдем $r_1 = 45,5$ Ом.

В (1.2) подставим (1.3) и определим ток $I_1 = 1,03$ А.

Найденные значения I_1 и r_1 подставим в (1.1) и найдем показания вольтметра $U_1 = 46,9$ В.

Разность потенциалов между точками А и В при отключенном вольтметре равна произведению тока I_2 на половину сопротивления потенциометра, т.е.

$$U_2 = [\varepsilon/R + r_0]r/2. \quad (1.5)$$

Подставив числовые значения в (1.5), получим ответ к задаче.

Ответ: $U_1 = 46,9 \text{ В}$, $U_2 = 50 \text{ В}$.

Задача 2. Определить внутреннее сопротивление источника тока, если во внешней цепи при токе 4 А развивается мощность 10 Вт, а при токе 6 А – мощность 12 Вт.

Дано: $I_1 = 4 \text{ А}$, $P_1 = 10 \text{ Вт}$, $I_2 = 6 \text{ А}$, $P_2 = 12 \text{ Вт}$

Для расчета искомой величины воспользуемся формулами (37) и (29). Решив совместно эти уравнения для двух случаев относительно r , получим окончательно

$$r = (I_1 R_1 - I_2 R_2) / (I_2 - I_1) \quad (2.1)$$

Выразив $I_1 R_1$ и $I_2 R_2$ из (37) и подставив в выражение (2.1), найдем искомое внутреннее сопротивление источника тока:

$$r = (P_1 / I_1 - P_2 / I_2) / (I_2 - I_1).$$

Ответ: $r = 0,25 \text{ Ом}$.

Задача 3. Электрическая цепь состоит из двух гальванических элементов, трех сопротивлений и гальванометра (рис.9), в этой цепи $r_1=100 \text{ Ом}$, $r_2=50 \text{ Ом}$, $r_3=20 \text{ Ом}$, э.д.с. элемента $\varepsilon_1= 2\text{В}$. Гальванометр регистрирует ток $I_3=50 \text{ мА}$, идущий в направлении, указанном стрелкой. Определить э.д.с. второго элемента. Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

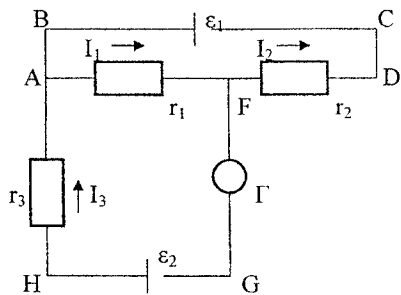


Рис.9

Для расчета разветвленных цепей применяются законы Кирхгофа (39) и (40).

Применяя эти законы, следует соблюдать следующие правила:

1. Перед составлением уравнений произвольно выбрать:
 - а) направления токов (если они не заданы по условию задачи) и указать их стрелками на чертеже;
 - б) направление обхода контуров.

2. При составлении уравнений по формуле (39) считать токи, входящие в узел, положительными; токи, выходящие из узла, — отрицательными.

3. При составлении уравнений по формуле (40) учитывать, что:

а) падение напряжения на участке цепи входит в уравнение со знаком плюс, если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура; в противном случае падение напряжения входит в уравнение со знаком минус;

б) э.д.с. входит в уравнение со знаком плюс, если она повышает потенциал в направлении обхода контура, т. е. если при обходе приходится идти от минуса к плюсу внутри источника тока; в противном случае э.д.с. входит в уравнение со знаком минус.

Число независимых уравнений, которые могут быть составлены по формуле (40), должно быть меньше количества замкнутых контуров, имеющихся в цепи. Для составления уравнений первый контур выбирается произвольно. Все последующие контуры следует выбирать так, чтобы в каждый новый контур входила хотя бы одна ветвь цепи, не участвовавшая ни в одном из ранее использованных контуров. Если при решении уравнений, составленных указанным выше способом, получаются отрицательные значения тока или сопротивления, то это означает, что ток через данное сопротивление в действительности течет в направлении, противоположном произвольно выбранному.

Дано: $r_1 = 100 \text{ Ом}$;
 $r_2 = 50 \text{ Ом}$;
 $r_3 = 20 \text{ Ом}$;
 $\varepsilon_1 = 2 \text{ В}$;
 $I_3 = 50 \text{ мА}$

$\varepsilon_2 = ?$

Выберем направления токов, как они показаны на рис.9, и условимся обходить контуры по часовой стрелке.

Для узла F по формуле (39) имеем

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

Для контура ABCDFA по (40) получим:

$$- I_1 r_1 - I_2 r_2 = - \varepsilon_1,$$

умножив обе части равенства на -1, получим

$$I_1 r_1 + I_2 r_2 = \varepsilon_1. \quad (3.1)$$

Соответственно для контура AFGHA найдем:

$$I_1 r_1 + I_3 r_3 = \varepsilon_2. \quad (3.2)$$

Подставив числовые значения в формулы (3.1), (3.2) и соответственно преобразовав полученные уравнения, получим следующую систему:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 = 0,05, \\ 50I_1 + 25I_2 = 1, \\ 100I_1 - \varepsilon_2 = -1. \end{cases}$$

Вспользуемся методом определителей, т.е. составим и вычислим определитель Δ системы:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 50 & 25 & 0 \\ 100 & 0 & -1 \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} 25 & 0 \\ 0 & -1 \end{vmatrix} - (-1) \begin{vmatrix} 50 & 0 \\ 100 & -1 \end{vmatrix} = -25 - 50 = -75.$$

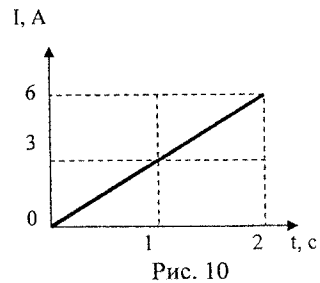
Составим и вычислим определитель $\Delta \varepsilon_2$:

$$\Delta \varepsilon_2 = \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0.05 \\ 50 & 25 & 1 \\ 100 & 0 & -1 \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} 25 & 1 \\ 0 & -1 \end{vmatrix} - (-1) \begin{vmatrix} 50 & 1 \\ 100 & -1 \end{vmatrix} + 0.05 \begin{vmatrix} 50 & 1 \\ 100 & -1 \end{vmatrix} = -25 - 50 - 100 - 125 = -300.$$

Разделив $\Delta \varepsilon_2$ на Δ , найдем числовое значение ε_2 .

Ответ: $\varepsilon_2 = 4$ В.

Задача 4. Ток в проводнике сопротивлением 20 Ом нарастает в течение 2 с по линейному закону от 0 до 6 А (Рис. 10). Определить теплоты, выделившиеся в проводнике соответственно за первую и вторую секунды, а также найти отношение этих теплот.



Закон Джоуля-Ленца (31) справедлив для постоянного тока. Если же ток в проводнике изменяется, то указанный закон справедлив лишь для бесконечно малого промежутка времени и записывается в виде

$$dQ = I^2 r dt. \quad (4.1)$$

Здесь ток является функцией времени. В нашем случае

$$I = kt, \quad (4.2)$$

где k - коэффициент пропорциональности, численно равный приращению тока в единицу времени, т.е.

$$k = \Delta I / \Delta t = 3 \text{ А/с}.$$

С учетом (4.2) формула (4.1) примет вид

$$dQ = k^2 r t^2 dt. \quad (4.3)$$

Для определения теплоты, выделившейся за конечный промежуток времени t , выражение (4.3) надо проинтегрировать в пределах от t_1 до t_2 :

$$Q = k^2 r \int_{t_1}^{t_2} t^2 dt = [k^2 r (t^3 - t_1^3)] / 3. \quad (4.4)$$

Для определения теплоты, выделившейся в проводнике за первую секунду, пределы интегрирования (0; 1 с); за вторую секунду - (1 с; 2 с). Подставим данные в формулу (4.4), получим значения для теплот. Затем разделим теплоту, выделившуюся за вторую секунду, на теплоту, выделившуюся за первую секунду.

Ответ: $Q_1 = 60$ Дж, $Q_2 = 420$ Дж, $Q_2/Q_1 = 7$.

Задача 5. По двум бесконечно длинным, прямым параллельным проводникам, расстояние между которыми 15 см, текут токи 70 А и 50 А в одном направлении. Определить магнитную индукцию в точке, удаленной на 10 см от первого и на 20 см от второго проводника.

Дано: $d = 15$ см;
 $I_1 = 70$ А;
 $I_2 = 50$ А;
 $r_1 = 10$ см;
 $r_2 = 20$ см

$B = ?$

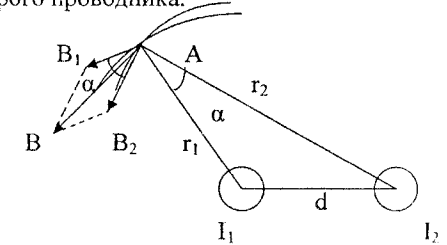


Рис. 11

Согласно принципу суперпозиции, магнитная индукция в точке А:

$$B = B_1 + B_2,$$

где B_1 и B_2 - соответственно магнитные индукции полей, создаваемые проводниками с токами I_1 и I_2 (направления векторов B_1 и B_2 и токов I_1 и I_2 показаны на рис. 11). Модуль B найдем по теореме косинусов:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos \alpha}, \quad (5.1)$$

где $B_1 = \mu_0 I_1 / (2\pi r_1)$; $B_2 = \mu_0 I_2 / (2\pi r_2)$; $\cos \alpha = (r_1^2 + r_2^2 - d^2) / (2r_1 r_2)$.

Подставим эти выражения в формулу (5.1) и найдем искомую величину.

Ответ: $B = 178$ мкТл.

Задача 6. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной 10 см, течет ток 100 А. Найти магнитную индукцию в точке пересечения диагоналей квадрата.

Дано: $a = 10$ см,
 $I = 100$ А

$B = ?$

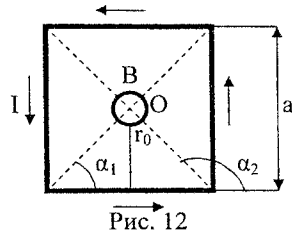


Рис. 12

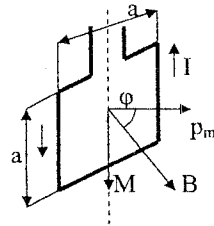


Рис. 13

Расположим квадратный виток на плоскости (рис. 12). Согласно принципу суперпозиции магнитных полей, магнитная индукция поля квадратного витка будет равна геометрической сумме магнитных индукций полей, создаваемых каждой стороной квадрата в отдельности:

$$B = B_1 + B_2 + B_3 + B_4. \quad (6.1)$$

В точке O пересечения диагоналей квадрата все векторы индукции направлены перпендикулярно плоскости витка по направлению «на нас». Кроме того, из соображений симметрии следует, что абсолютные значения этих векторов одинаковы: $B_1 = B_2 = B_3 = B_4$. Это позволяет векторное равенство (6.1) заменить скалярным равенством:

$$B = 4B_1. \quad (6.2)$$

Магнитная индукция B_1 поля, создаваемого отрезком прямолинейного провода с током, выражается (47). Учитывая, что $\alpha_2 = \pi - \alpha_1$ и $\cos \alpha_2 = -\cos \alpha_1$ (см. рис.12), формулу (47) можно переписать в виде

$$B_1 = \mu_0 I \cos \alpha_1 / 2\pi r_0.$$

Подставим это выражение в (6.2), получим

$$B = 2\mu_0 I \cos \alpha_1 / \pi r_0.$$

Если учесть, что $r_0 = a/2 \cos \alpha_1 = \sqrt{2}/2$ (так как $\alpha_1 = \pi/4$), получим:

$$B = 2\sqrt{2} \mu_0 I / \pi a.$$

Ответ: $B = 1,13$ мТл.

Задача 7. По двум параллельным прямым проводникам длиной 2 м каждый, находящимся в вакууме на расстоянии 10 см друг от друга, в противоположных направлениях текут токи 50 А и 100 А. Определить силу взаимодействия токов.

Дано: $l = 2$ м;
 $d = 10$ см;
 $I_1 = 50$ А;
 $I_2 = 100$ А

$F = ?$

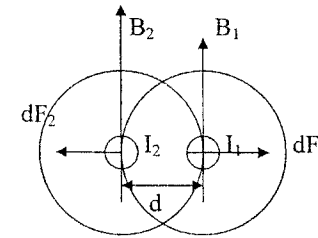


Рис. 14

Согласно закону Ампера (50), на каждый элемент длины проводника dl с током I_2 действует в магнитном поле, создаваемом током I_1 , сила

$$dF_1 = I_2 B_1 dl \quad (7.1)$$

(ее направление определено по правилу левой руки и показано на рис.14). Проведя аналогичные рассуждения для проводника с током I_1 , получим

$$dF_2 = I_1 B_2 dl. \quad (7.2)$$

Модули магнитных индукций B_1 и B_2 (направления B_1 и B_2 показаны на рис.14) определяются соотношениями:

$$B_1 = \mu_0 I_1 / (2\pi d); \quad B_2 = \mu_0 I_2 / (2\pi d).$$

Подставив эти выражения в (7.1) и (7.2), получим

$$dF_1 = dF_2 = \mu_0 I_1 I_2 dl / (2\pi d) = dF \quad (7.3)$$

(направления сил указаны на рис.14).

Проинтегрировав выражение (7.3), найдем искомую силу взаимодействия токов:

$$F = \mu_0 I_1 I_2 / (2\pi d) \int_0^l dl = \mu_0 I_1 I_2 l / (2\pi d).$$

Ответ: $F = 20$ мН.

Задача 8. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 400 В, попал в однородное магнитное поле напряженностью 10^3 А/м. Определить радиус кривизны траектории и частоту обращения электрона в магнитном поле. Вектор скорости перпендикулярен линиям поля.

Дано: $U = 400$ В;
 $H = 10^3$ А/м

Радиус кривизны траектории электрона определим, исходя из следующих соображений: на движущийся в магнитном поле электрон действует сила Лоренца F_L (55) (действием силы тяжести можно пренебречь). Сила Лоренца перпендикулярна вектору скорости и, следовательно, сообщает электрону нормальное ускорение. По второму закону Ньютона можно записать

$$F_L = ma_n,$$

где a_n - нормальное ускорение или

$$|e|vB\sin\alpha = mv^2/R, \quad (8.1)$$

где e - заряд электрона; v - скорость электрона; B - магнитная индукция; m - масса электрона; R - радиус кривизны траектории; α - угол между направлением v и B (в данном случае $v \perp B$ и $\sin\alpha = 1$). Из (8.1) найдем

$$R = mv/(|e|B). \quad (8.2)$$

Входящий в равенство (8.2) импульс mv может быть выражен через кинетическую энергию T электрона

$$mv = \sqrt{2mT}. \quad (8.3)$$

Кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов, определяется равенством

$$T = |e|U.$$

Подставив данное выражение в (8.3), получим

$$mv = \sqrt{2m|e|U}.$$

Магнитная индукция может быть выражена через напряженность магнитного поля в вакууме:

$$B = \mu_0 H,$$

где μ_0 - магнитная постоянная.

Подставив найденные выражения B и mv в (8.2), определим:

$$R = \sqrt{2m|e|U}/(\mu_0 e H). \quad (8.4)$$

Для определения частоты обращения воспользуемся формулой, связывающей частоту со скоростью и радиусом:

$$n = v/(2\pi R). \quad (8.5)$$

Подставив (8.5) в выражение (8.2), получим

$$n = \mu_0 |e| H / (2\pi m).$$

Ответ: $R = 5,37$ см, $n = 3,52 \cdot 10^7$ с⁻¹.

Задача 9. В однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл равномерно вращается катушка, содержащая 600 витков, с частотой 6 с⁻¹. Площадь поперечного сечения катушки 100 см². Ось вращения перпендикулярна оси катушки и направлению магнитного поля. Определить максимальную э.д.с. индукции вращающейся катушки.

Дано: $B = 0,2$ Тл;
 $N = 600$;
 $n = 6$ с⁻¹;
 $S = 100$ см²

Согласно закону Фарадея (61)

$$\mathcal{E}_i = -d\Psi/dt, \quad (9.1)$$

где потокосцепление катушки $\Psi = N\Phi$ (N - число витков, пронизываемых магнитным потоком Φ). При произвольном расположении катушки относительно магнитного поля

$$\Psi = NBS\cos\omega t, \quad (9.2)$$

где круговая частота $\omega = 2\pi n$. Подставив ω в (9.2), получим

$$\Psi = NBS\cos 2\pi n t. \quad (9.3)$$

Тогда с учетом (9.3) получим для э.д.с.:

$$\mathcal{E}_i = 2\pi n NBS \sin 2\pi n t$$

при $\sin 2\pi n t = 1$, $\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{i \max}$, поэтому

$$\mathcal{E}_{i \max} = 2\pi n NBS.$$

Ответ: $\mathcal{E}_{i \max} = 45,2$ В.

Задача 10. Катушка без сердечника длиной 50 см содержит 200 витков. По катушке течет ток 1 А. Определить объемную плотность энергии магнитного поля внутри катушки.

Дано: $l = 50$ см;
 $N = 200$;
 $I = 1$ А;
 $\mu = 1$

Объемная плотность энергии магнитного поля
 $\omega = W/V$, (10.1)

где W - энергия магнитного поля (66); $V = lS$ - объем катушки (S - площадь катушки). Индуктивность катушки определим по формуле (65). Подставив последнее выражение в (10.1), найдем искомую объемную плотность энергии магнитного поля внутри катушки

$$\omega = \mu_0 \mu N^2 I^2 / (2l^2).$$

Ответ: $\omega = 0,1$ Дж/м³.

Контрольная работа 4

Студент-заочник должен решить восемь задач того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой его шифра.

Вариант	Номера задач							
0	401	414	423	432	443	451	470	472
1	402	417	427	438	448	452	469	473
2	403	415	424	433	444	453	468	476
3	404	418	429	437	449	454	467	477
4	405	416	425	434	445	455	466	471
5	406	411	428	439	450	456	465	478
6	407	419	426	435	446	457	464	479
7	408	412	421	440	447	458	463	480
8	409	420	430	436	441	459	462	475
9	410	430	422	431	442	460	461	474

Задачи

401. Катушка и амперметр соединены последовательно и присоединены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением $r = 4$ кОм. Амперметр показывает силу тока $I = 0,3$ А, вольтметр - напряжение $U = 120$ В. Определить сопротивление катушки.

402. Э.д.с. батареи $\epsilon = 80$ В, внутреннее сопротивление $r_1 = 5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100$ Вт. Определить силу тока I , напряжение U , под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление r .
403. От батареи, э.д.с. которой $\epsilon = 600$ В, требуется передать энергию на расстояние $l = 1$ км. Потребляемая мощность $P = 5$ кВт. Найти минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводных проводов $d = 0,5$ см.
404. Определить число электронов, проходящих в секунду через единицу площади поперечного сечения железной проволоки длиной $l = 20$ м при напряжении на ее концах $U = 16$ В.
405. Э.д.с. батареи $\epsilon = 24$ В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I_{\max} = 10$ А. Определить максимальную мощность P_{\max} , которая может выделяться во внешней цепи.
406. При внешнем сопротивлении $r_1 = 8$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 0,8$ А, при сопротивлении $r_2 = 15$ Ом сила тока $I_2 = 0,5$ А. Определить силу тока $I_{\text{к.з.}}$ короткого замыкания источника э.д.с.
407. В сеть с напряжением $U = 100$ В включили катушку с сопротивлением $r = 2$ кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показание вольтметра $U_1 = 80$ В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал $U_2 = 60$ В. Определить сопротивление другой катушки.
408. Э.д.с. батареи $\epsilon = 12$ В. При силе тока $I = 4$ А КПД батареи $\eta = 0,6$. Определить внутреннее сопротивление r_1 батареи.
409. Какое напряжение можно дать на катушку, имеющую 1000 витков медного провода со средним диаметром витков 6 см, если допустимая плотность тока 2 А/мм^2 ?
410. Аккумулятор замыкается один раз таким сопротивлением, что сила тока равна 3 А, второй раз таким сопротивлением, что сила тока равна 2 А. Определить э.д.с. аккумулятора, если мощность тока во внешней цепи в обоих случаях одинакова, а внутреннее сопротивление аккумулятора равно 4 Ом.

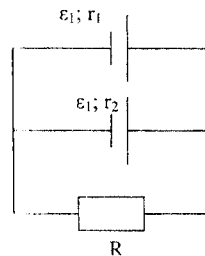


Рис. 15

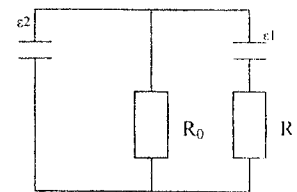


Рис. 16

411. Два источника тока с э.д.с. 4 и 6 В и одинаковыми внутренними сопротивлениями 4 Ом (рис.15). Определить силы токов, идущих через резистор и элементы.
412. В цепи (рис. 16) внутреннее сопротивление источников тока $r_1=1,5$ Ом, $r_2=0,5$ Ом, э.д.с. $\varepsilon_1=50$ В, $\varepsilon_2=10$ В. Найти сопротивление R_1 , при котором сила тока в сопротивлении R_0 равна нулю.
413. Два элемента с э.д.с. 2 и 1 В соединены параллельно (см. рис.15). Параллельно к ним подключен резистор, сопротивление которого необходимо определить. Внутреннее сопротивление элементов соответственно равно 0,5 и 0,2 Ом. Известно, что через первый элемент проходит ток силой $I_1=2$ А.
414. Найти силу токов во всех участках цепи, составленной по схеме, указанной на рис. 17, если $\varepsilon_1=3$ В, $\varepsilon_2=4$ В, $\varepsilon_3=5$ В, $R_1=8$ Ом, $R_2=3$ Ом, $R_3=1$ Ом. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебречь.

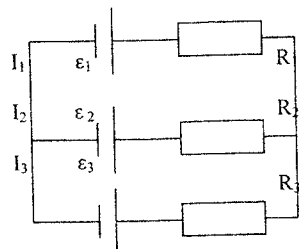


Рис.17

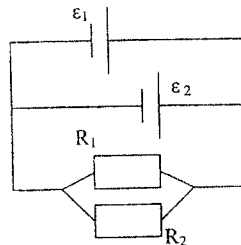


Рис.18

415. Два элемента с внутренними сопротивлениями 0,5 Ом и э.д.с. 1,5 В каждый соединены параллельно и замкнуты на два параллельно соединенных проводника сопротивлениями 1 и 3 Ом (рис. 18). Найти силу тока в проводнике с сопротивлением 3 Ом, если сопротивление соединительных проводов 4 Ом.
416. Определить э.д.с. источника тока в цепи, схема которой представлена на рис. 19, если $R_1=2$ Ом, $R_2=3$ Ом, $R_3=4$ Ом, $I_3=0,75$ А. Найти I_1 и I_2 .

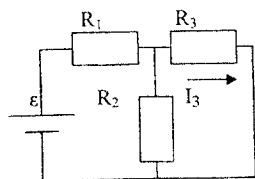
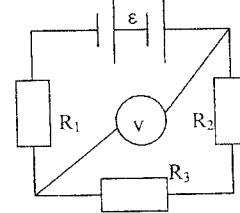
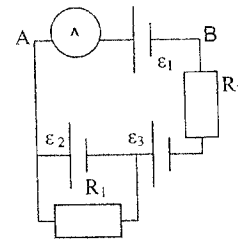


Рис.19

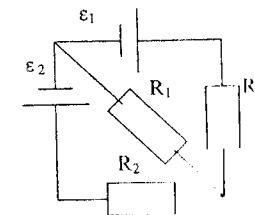
417. В схеме, изображенной на рисунке, э.д.с. батареи $E=100$ В, $R_1=100$ Ом, $R_2=200$ Ом, $R_3=300$ Ом. Какое напряжение показывает вольтметр, если его сопротивление равно 2000 Ом? Сопротивлением батареи пренебречь.



418. Определите показание прибора, разность потенциалов и напряжение на участке АВ, если $\varepsilon_1=2,1$ В, $\varepsilon_2=1,9$ В, $\varepsilon_3=4$ В, $R_1=100$ Ом, $R_2=60$ Ом, $r=10$ Ом (r -внутреннее сопротивление источников).

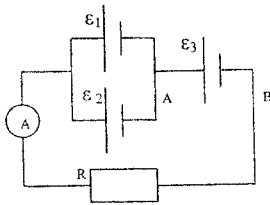


419. В схеме, приведенной на рисунке, э.д.с. источников $\varepsilon_1=2,1$ В, $\varepsilon_2=1,9$ В, сопротивления $R_1=45$ Ом, $R_2=10$ Ом, $R_3=40$ Ом. Найти силу тока во всех участках цепи. Внутренним сопротивлением источников



тока пренебречь.

420. Определите показание прибора, разность потенциалов и напряжение на участке АВ, если $\varepsilon_1=1,3$ В, $\varepsilon_2=1,5$ В, $\varepsilon_3=2$ В, $\varepsilon_3=2$ В, $R=0,6$ Ом, внутреннее сопротивление источников $r=0,2$ Ом.



421. Сила тока в проводнике равномерно увеличивается от нуля до некоторого максимального значения в течение времени $t=20$ с. За это время в проводнике выделилась теплота $Q=4$ кДж. Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление его $r=5$ Ом.
422. Сила тока в проводнике меняется со временем по закону $I=I_0 e^{-\alpha t}$. Начальная сила тока $I_0=20$ А, $\alpha=10^2 \text{ с}^{-1}$. Определить теплоту, выделившуюся в проводнике за время $t=10^{-2}$ с.
423. Ток в проводнике сопротивлением $r=10$ Ом за время $t=50$ с равномерно нарастает от $I_1=5$ А до $I_2=10$ А. Определить теплоту Q , выделившуюся за это время в проводнике.
424. В проводнике за время $t=10$ с при равномерном возрастании тока от $I_1=1$ А до $I_2=2$ А выделилась теплота $Q=5$ кДж. Найти сопротивление r проводника.
425. Сила тока в проводнике меняется со временем по закону $I=I_0 \sin \omega t$. Найти заряд Q , протекающий через поперечное сечение проводника за половину периода T , если начальная сила тока $I_0=10$ А, циклическая частота $\omega=50 \text{ лс}^{-1}$.
426. Ток в проводнике сопротивлением $r=20$ Ом за время $t=10$ с равномерно возрастает от нуля до некоторого максимума. За это время в проводнике выделилась теплота $Q=40$ кДж. Определить среднее значение силы тока $\langle I \rangle$ в проводнике за этот промежуток времени.
427. По проводнику сопротивлением $r=8$ Ом течет равномерно возрастающий ток. За время $t=8$ с в проводнике выделилась теплота $Q=500$ Дж. Определить заряд q , протекающий за это время по проводнику. В момент времени, принятый за начальный, ток в проводнике был равен нулю.

428. Сила тока в проводнике сопротивлением $r=10$ Ом равномерно убывает от значения $I_1=10$ А до $I_2=0$ в течение времени $t=10$ с. Определить теплоту Q , выделившуюся в этом проводнике за указанный промежуток времени.
429. Ток в проводнике равномерно увеличивается от нуля до некоторого максимального значения в течение $t=10$ с. За это время в проводнике выделилась теплота $Q=10$ Дж. Определить скорость нарастания тока в проводнике, если сопротивление его $r=3$ Ом.
430. Ток в проводнике сопротивлением $R=10$ Ом равномерно возрастает от нуля до некоторого максимума в течение 5 с. За это время в проводнике выделилось количество теплоты $Q=10$ кДж. Найти среднее значение тока в проводнике за этот промежуток времени.
431. Вольтметр рассчитан на измерение напряжений до максимального значения $V_0=30$ В. При этом через вольтметр идет ток $I=10$ мА. Какое добавочное сопротивление R_d нужно присоединить к вольтметру, чтобы им можно было измерять напряжения до $V=300$ В?
432. Стрелка миллиамперметра отклоняется до конца шкалы, если через миллиамперметр идет ток $I=0,01$ А. Сопротивление прибора $R=5$ Ом. Какое добавочное сопротивление R_d нужно присоединить к прибору, чтобы его можно было использовать в качестве вольтметра с пределом измерения напряжений $V=300$ В?
433. Вольтметр с сопротивлением $R=50$ кОм, подключенный к источнику тока вместе с добавочным сопротивлением $R_d=120$ кОм, показывает напряжение $V_0=100$ В. Найти напряжение V источника тока.
434. Имеется набор с ценой деления $i_0=1$ мкА/дел и числом делений шкалы $N=100$. Сопротивление прибора $R=50$ Ом. Как этот прибор приспособить для измерения токов до значения $I=10$ мА или напряжений до значения $V=1$ В?
435. Миллиамперметр с пределом измерения токов $I_0=25$ мА необходимо использовать как амперметр с пределом измерения токов $I=5$ А. Какое сопротивление $R_{ш}$ должен иметь шунт? Во сколько раз уменьшится чувствительность прибора? Сопротивление прибора $R=10$ Ом.
436. Амперметр с сопротивлением $R=0,2$ Ом, накоротко присоединенный к источнику тока с напряжением $V=1,5$ В, показывает ток $I=5$ А. Какой ток I_0 покажет амперметр, если его зашунтировать сопротивлением $R_{ш}=0,1$ Ом?
437. Миллиамперметр с числом делений шкалы $N=50$ имеет цену деления $i_0=0,5$ мА/дел и сопротивление $R=200$ Ом. Как этот прибор приспособить для измерения токов до значения $I=1$ А?

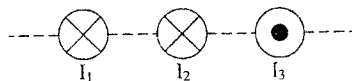
438. К амперметру с сопротивлением $R=0,1$ Ом подключен шунт с сопротивлением $R_{ш}=11,1$ мОм. Найти ток, текущий через амперметр, если ток в общей цепи $I=27$ А.

439. Параллельно амперметру с сопротивлением $R=0,03$ Ом включен медный проводник длины $l=10$ см и диаметра $D=1,5$ мм. Найти ток в цепи I , если амперметр показывает ток $I_0=0,4$ А. Удельное сопротивление меди $\rho=0,017$ мкОм·м.

440. При шунтировании гальванометра сопротивлениями R_1 , R_2 и R_3 в них ответвляется 90%, 99% и 99,9% тока I в общей цепи. Найти эти сопротивления, если сопротивление гальванометра $R=27$ Ом.

441. Ток силой 50 А идет по проводнику, согнутому под прямым углом. Найти напряженность магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии $d=20$ см. Считать, что оба конца проводника находятся очень далеко от вершины угла.

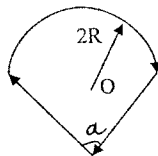
442. На рисунке изображено сечение трех бесконечно длинных проводников. $I_1=I_2=1$ А, $I_3=2$ А. Определить силу, действующую на единицу длины второго проводника, если расстояние между проводниками $a=3$ см.



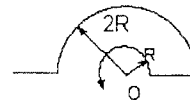
443. По трем длинным параллельным проводам текут токи, равные по силе $I_1=I_2=I_3=6$ А, в одном направлении. Расстояние между проводниками равно $a=10$ см. Определить силу, действующую на единицу длины каждого проводника.

444. Из тонкого провода, по которому течет ток, согнут квадрат. Во сколько раз изменится индукция в центре симметрии фигуры, если, не меняя силу тока, проводнику придать форму окружности?

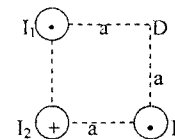
445. По плоскому контуру из тонкой проволоки течет ток силой $I=10$ А. Определить индукцию магнитного поля, создаваемого этим током в точке O . Значение $R=10$ см, $\alpha=\pi/3$.



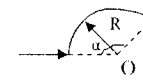
446. По плоскому контуру из тонкой проволоки течет ток силой $I=10$ А. Определить индукцию магнитного поля, создаваемого этим током в точке O . Значение $R=10$ см.



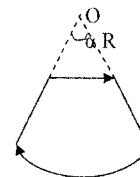
447. На рисунке изображено сечение плоскостью чертежа трех бесконечно длинных проводников с током. Определить индукцию магнитного поля в точке D , если $I_1=I_2=I_3=2$ А, $a=10$ см.



448. По плоскому контуру из тонкой проволоки течет ток силой $I=10$ А. Определить индукцию магнитного поля, создаваемого этим током в точке O . Значение $R=10$ см, $\alpha=5\pi/6$.

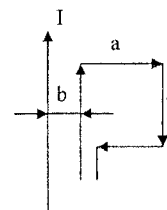


449. По плоскому контуру из тонкой проволоки течет ток силой $I=10$ А. Определить индукцию магнитного поля, создаваемого этим током в точке O . Значение $R=10$ см, $\alpha=2\pi/3$.



450. Два бесконечно длинных прямых проводника скрещены под прямым углом. По проводникам текут токи силой $I_1=100\text{А}$ и $I_2=50\text{А}$. Расстояние между проводниками $d=20\text{ см}$. Определить индукцию B магнитного поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам.
451. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,01\text{Тл}$ помещен прямой проводник длиной $l=20\text{ см}$, (подводящие провода находятся вне поля). Определить силу F , действующую на проводник, если по нему течет ток силой $I=5\text{А}$, а угол φ между направлением тока и вектором магнитной индукции равен 30° .
452. Рамка с током силой $I=5\text{А}$ содержит N витков тонкого провода. Определить магнитный момент p_m рамки с током, если ее площадь $S=10\text{ см}^2$.
453. По витку радиусом $R=10\text{ см}$ течет ток силой $I=50\text{А}$. Виток помещен в однородное магнитное поле индукцией $B=0,2\text{Тл}$. Определить момент силы M , действующей на виток, если плоскость витка составляет угол $\varphi=60^\circ$ с линиями индукции.
454. В однородное магнитное поле с индукцией $B=0,1\text{Тл}$ помещена квадратная рамка площадью $S=25\text{см}^2$. Нормаль к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол 60° . Определить вращающий момент, действующий на рамку, если по ней течет ток $I=1\text{А}$.
455. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,5\text{Тл}$ находится прямоугольная рамка длиной $a=8\text{ см}$ и шириной $b=5\text{ см}$, содержащая $N=100$ витков тонкой проволоки. Ток в рамке $I=1\text{А}$, а плоскость рамки параллельна линиям магнитной индукции. Определить: 1) магнитный момент рамки; 2) вращающий момент, действующий на рамку.
456. В однородном магнитном поле с индукцией $B=1\text{Тл}$ находится квадратная рамка со стороной $a=10\text{ см}$, по которой течет ток $I=4\text{А}$. Плоскость рамки перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить работу A , которую необходимо затратить для поворота рамки относительно оси, проходящей через середину ее противоположных сторон: 1) на 90° ; 2) на 180° ; 3) на 360° .
457. Два бесконечных, прямолинейных, параллельных проводника с одинаковыми токами, текущими в одном направлении, находятся друг от друга на расстоянии R . Чтобы их раздвинуть до расстояния $2R$, на каждый сантиметр длины проводника затрачивается работа $A=138\text{ нДж}$. Определить силу тока в проводниках.

458. Контур из провода, изогнутого в форме квадрата (см. рисунок) со стороной $a=0,5\text{ м}$, расположен в одной плоскости с бесконечным, прямолинейным проводом с током $I=5\text{А}$ так, что две его стороны параллельны проводу. Сила тока в контуре $I_1=1\text{А}$. Определить силу, действующую на контур, если ближайшая к проводу сторона контура находится на расстоянии $b=10\text{ см}$. Направление токов указано на рисунке.



459. Прямоугольная рамка со сторонами $a=40\text{ см}$ и $b=30\text{ см}$ расположена в одной плоскости с бесконечным, прямолинейным проводом с током $I=6\text{А}$ так, что длинные стороны рамки параллельны проводу. Сила тока в рамке $I_1=1\text{А}$. Определить силы, действующие на каждую из сторон рамки, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии $c=10\text{ см}$, а ток в ней сонаправлен току I .
460. По прямому горизонтально расположенному проводу пропускают ток $I_1=10\text{А}$. Под ним на расстоянии $R=1,5\text{ см}$ находится параллельно ему алюминиевый провод, по которому пропускают ток $I_2=1,5\text{А}$. Определить, какова должна быть площадь поперечного сечения алюминиевого провода, чтобы он удерживался не закрепленным. Плотность алюминия $\rho=2,7\text{ г/см}^3$.
461. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,5\text{Тл}$ по окружности. Определить угловую скорость вращения электрона.
462. Электрон, обладая скоростью $v=10\text{ мм/с}$, влетел в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Индукция магнитного поля $B=0,1\text{Тл}$. Определить нормальное и тангенциальное ускорения электрона.
463. В однородном магнитном поле перпендикулярно линиям магнитной индукции движется прямой проводник длиной 40 см . Определить силу Лоренца, действующую на свободный электрон проводника, если возникающая на его концах разность потенциалов составляет 10 мкВ .

464. Электрон ускоренный движется параллельно прямолинейно длинному проводнику на расстоянии $r = 1$ см от него. Определить силу, действующую на электрон, если через проводник пропускать ток $I = 10$ А.
465. Протон, ускоренный разностью потенциалов $U = 0,5$ кВ, влетая в однородное магнитное поле с магнитной индукцией $B = 2$ мТл, движется по окружности. Определить радиус этой окружности.
466. Электрон, влетев в однородное магнитное поле с магнитной индукцией $B = 2$ мТл, движется по круговой орбите радиусом $R = 15$ см. Определить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока.
467. Электрон, обладая скоростью $v = 1$ Мм/с, влетает в однородное магнитное поле под углом $\alpha = 60^\circ$ к направлению поля и начинает двигаться по спирали. Напряженность $N = 1,5$ кА/м. Определить: 1) шаг спирали; 2) радиус витка спирали.
468. Электрон движется в однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B = 0,2$ мТл по винтовой линии. Определить скорость v электрона, если радиус винтовой линии $R = 3$ см, а шаг $h = 9$ см.
469. Определить, при какой скорости пучок заряженных частиц, двигаясь перпендикулярно скрещенным под прямым углом однородным электрическому ($E = 100$ кВ/м) и магнитному ($B = 50$ мТл) полям, не отклоняется.
470. В однородное магнитное поле с магнитной индукцией $0,2$ Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции с постоянной скоростью влетает заряженная частица. В течение 5 мкс включается электрическое поле напряженностью $0,5$ кВ/м в направлении, параллельно магнитному полю. Определить шаг винтовой траектории заряженной частицы.
471. Соленоид диаметром $d = 4$ см, имеющий $N = 500$ витков, помещен в магнитное поле, индукция которого меняется со скоростью 1 мТл/с. Ось соленоида составляет с вектором магнитной индукции угол $\alpha = 45^\circ$. Определить э.д.с. индукции, возникающей в соленоиде.
472. В магнитное поле, изменяющееся по закону $B = B_0 \cos \omega t$ ($B_0 = 0,1$ Тл, $\omega = 4\pi \cdot 10^3$ с $^{-1}$), помещена квадратная рамка со стороной $a = 50$ см, причем нормаль к рамке образует с направлением поля угол $\alpha = 45^\circ$. Определить э.д.с. индукции, возникающую в рамке в момент времени $t = 5$ с.
473. Кольцо из алюминиевого провода ($\rho = 26$ нОм·м) помещено в магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Диаметр кольца $D = 30$ см, диаметр провода $d = 2$ мм. Определить изменения магнитного поля, если ток в кольце $I = 1$ А.
474. Плоскость проволочного витка площадью $S = 100$ см 2 и сопротивлением $R = 5$ Ом, находящегося в однородном магнитном поле напряженностью $H = 10$ кА/м, перпендикулярна линиям магнитной индукции. При повороте витка в магнитном поле отсчет гальванометра, замкнутого на виток, составляет $Q = 12,6$ мКл. Определить угол поворота витка.
475. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,3$ Тл помещена прямоугольная рамка с подвижной стороной, длина которой $l = 15$ см. Определить э.д.с. индукции, возникающей в рамке, если ее подвижная сторона перемещается перпендикулярно линиям магнитной индукции со скоростью $v = 10$ м/с.
476. В однородном магнитном поле ($B = 0,1$ Тл) вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 50$ с $^{-1}$ вокруг вертикальной оси стержень длиной $l = 0,4$ м. Определить э.д.с. индукции, возникающей в стержне, если ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции.
477. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0,02$ Тл равномерно вращается вокруг вертикальной оси горизонтальный стержень длиной $l = 0,5$ м. Ось вращения проходит через конец стержня параллельно линиям магнитной индукции. Определить число оборотов в секунду, при котором на концах стержня возникает разность потенциалов $U = 0,1$ В.
478. В однородном магнитном поле ($B = 0,2$ Тл) равномерно с частотой $\nu = 600$ мин $^{-1}$ вращается рамка, содержащая $N = 100$ витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки $S = 100$ см 2 . Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям магнитной индукции. Определить максимальную э.д.с. индуцируемую в рамке.
479. Квадратная рамка из медной проволоки сечением $S_1 = 0,1$ см 2 расположена свободно в магнитном поле. Индукция магнитного поля изменяется по закону $B = 0,1 \sin \omega t$ Тл. Определить максимальную силу индукционного тока в рамке, если ее площадь $S_2 = 25$ см 2 .
480. Рамка, содержащая 1000 витков площадью 60 см 2 , равномерно вращается в магнитном поле с напряженностью 80 кА/м, длина 48000 витков. Ось вращения лежит в плоскости рамки перпендикулярно линиям индукции. Определить максимальную э.д.с., возникающую в рамке.