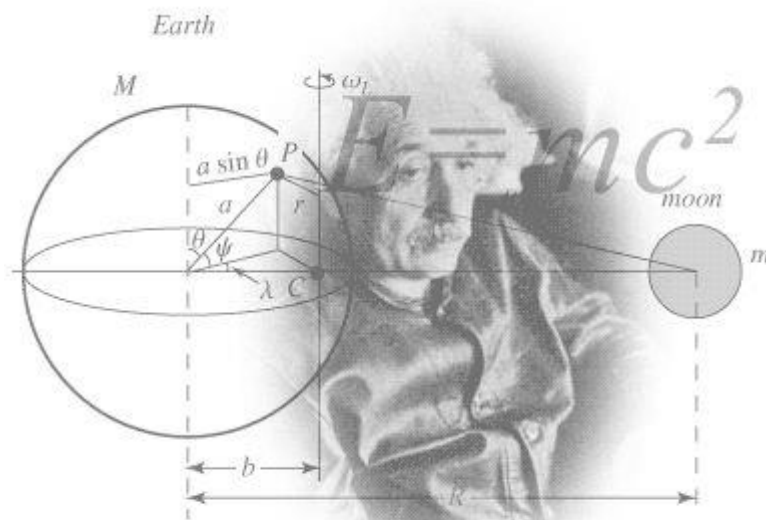


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

Приморская государственная сельскохозяйственная академия

Инженерно-технологический институт



ФИЗИКА

Часть 1

Методические указания для выполнения контрольной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю) для обучающихся заочной формы обучения по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

Электронное издание

Усурийск 2021

Составитель: Бондаренко Ю.Д., преподаватель инженерно-технологического института

Физика. Часть 2.: методические указания для выполнения контрольной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю) для обучающихся заочной формы обучения по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» [Электронный ресурс]: / Ю.Д. Бондаренко; ФГБОУ ВО ПГСХА.- Электрон. текст. дан. – Уссурийск: ПГСХА, 2021. – 58 с. - Режим доступа: [www. de.primacad.ru](http://www.de.primacad.ru).

Методические указания составлены в соответствии с требованиями стандарта ФГОС 3++ по направлению 21.03.02 «Землеустройство и кадастры», содержат задания для самостоятельной работы обучающихся и методические указания по их выполнению.

Рецензент: Д. А. Ломоносов, кандидат тех. наук, доцент инженерно-технологического института

Издается по решению методического совета ФГБОУ ВО Приморская ГСХА

Введение

Современная физика имеет фундаментальное значение для теории познания, формирования научного мировоззрения, понимания строения и свойств окружающего нас мира.

Физика оказывает большое влияние на другие науки и различные области техники, поэтому ее изучение создает базу для профессиональной подготовки студентов.

Цель настоящего учебного – методического указания – оказать помощь студентам – заочникам инженерно – технических специальностей в изучении курса физики.

Основной учебный материал программы курса в методическом указании распределен на шесть разделов. В первой части:

1. Физические основы механики;
2. Молекулярная физика. Термодинамика;

Во второй:

3. Электростатика. Постоянный ток;
4. Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны;
5. Оптика;
6. Физика атомов и атомного ядра. Элементарные частицы. Основы квантовой механики. Физика твердого тела.

В каждом из них даны основные формулы, примеры решения задач и контрольное задание. Кроме того, в методическом указании даны некоторые справочные таблицы.

Указания к выполнению контрольной работы

1. При выполнении контрольной работы студенту необходимо руководствоваться следующим:
2. Контрольная работа выполняется в тетради, на обложке которой нужно указать фамилию, инициалы, полный шифр, название контрольной работы, дату ее отправки в институт и адрес студента.

3. Задачи контрольной работы должны иметь те номера, под которыми они стоят в методических указаниях. Условия задач переписываются полностью без сокращений. Каждую задачу начинать с новой страницы. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля шириной 4-5см. Контрольные работы выполняются чернилами синего или фиолетового цвета.
4. В конце контрольной работы указывается, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении физики (название учебника, автор, год издания). Это делается для того, чтобы рецензент в случае необходимости мог указать, что следует студенту изучить для завершения контрольной работы.
5. Выслать на рецензию, выполненную контрольную работу.
6. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с не зачтенной.
7. В контрольной работе студент должен решить задачи того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой его шифра. Номера задач, которые студент, должен включить в свою контрольную работу, определяются по таблице вариантов.
8. Зачтенные контрольные работы предъявляются экзаменатору. Студент должен быть готов во время экзамена дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольную работу.

Указания к решению задач

Решение физических задач следует, проводить в определенной последовательности, соблюдая ряд указанных ниже требований:

1. Выписать данные задачи в колонку в принятом стандартном буквенном обозначении. Если необходимо обозначить несколько сходных величин, можно ввести большие и малые буквы или индексы (например, Различные сопротивления в электрической цепи можно обозначить R_1 , R_2 , и т. д.)
2. Величины, приведенные в условиях задачи, выразить в одной системе

- единиц, наиболее подходящей для данной задачи (предпочтительно в СИ).
3. При решении задачи, прежде всего, нужно хорошо вникнуть в условие задачи. Если это необходимо, сделать схематический чертеж (рисунок, график, схему), поясняющий содержание задачи.
 4. Решение задачи сопровождать краткими пояснениями.
 5. Указать основные законы и формулы, на которых базируется решение, и дать словесную формулировку этих законов, разъяснить буквенные обозначения формул. Если при решении задач применяется формула, полученная для частного случая, не выражающая какой-нибудь физической закон, или не являющаяся определением какой-нибудь физической величины, то ее следует вывести.
 6. За редким исключением каждая задача должна быть сначала решена в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условиях задачи, а не в числах.
 7. Получив ответ в виде алгебраической формулы, следует проверить его на основании правил размерностей, т. е, подставить в правую часть полученной рабочей формулы вместо символов величин обозначения единиц, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица соответствует искомой величине.
 8. Подставить в рабочую формулу числовые значения величины, выраженные в единицах одной системы. Несоблюдение этого правила приводит к неверному результату.
 9. Произвести вычисления величин, подставленных в формулу руководствуясь правилами приближенных вычислений, записать в ответе числовые значения и сокращенное наименование единицы искомой величины.
 10. При подстановке в рабочую формулу, а так же при записи ответа числовые значения величин записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3720 надо записать $3,72 \cdot 10^3$, вместо 0,00147

записать $1,47 \cdot 10^{-3}$ и т.д.

11. Оценить, где это целесообразно, правдоподобность численного ответа. В ряде случаев такая оценка поможет обнаружить ошибочность полученного результата. Например, электрический заряд не может быть меньше элементарного заряда $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, скорость тела не может быть больше скорости света в вакууме и т. д.

Литература

1. Валишев М. Г. Курс общей физики/М. Г. Валишев, А. А. Повзнер. – С – Пб.: Лань, 2008. – 576 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений).
2. Грабовский Р. И. Курс физики/Р. И. Грабовский. – С – Пб.: Лань, 2007. – 608 с.
3. Грабовский Р. И. Сборник задач по физике/Р. И. Грабовский. – С – Пб.: Лань, 2004. – 128 с.
4. Дмитриева В. Ф. Физика/В. Ф. Дмитриева. – 7-е изд., стер. – М.: Академия, 2006. – 464 с.
5. Зисман Г. А. Курс общей физики, Т 1-3/Г. А. Зисман, О. М. Тодес. – С – Пб.: Лань, 2007.
6. Ивлев А. Д. Физика/А. Д. Ивлев. – С – Пб.: Лань, 2008. – 672 с.
7. Иродов И. Е. Атомная и ядерная физика/И. Е. Иродов. – С – Пб.: Лань, 2007. – 288 с.
8. Кикоин А. К. Молекулярная физика/А. К. Кикоин, И. К. Кикоин. – С – Пб.: Лань, 2007. – 480 с.
9. Парселл Э. Электричество и магнетизм/Э. Парселл. – С – Пб.: Лань, 2005. – 416 с.
10. Савельев И. В. Курс общей физики, Т 1-3/И. В. Савельев. – С – Пб.: Лань, 2006.
11. Трофимова Т. И. Курс физики/Т. И. Трофимова. – 13-е изд., стер. – М.: Академия, 2007. – 560 с.
12. Фирганг Е. В. Руководство к решению задач по курсу общей физики/Е. В. Фирганг. – С – Пб.: Лань, 2008. – 352 с.
13. Фриш С. Э. Курс общей физики, Т 1-3/С. Э. Фриш, А. В. Тиморева. – С – Пб.: Лань, 2007.

Раздел III. Электростатика. Постоянный ток

Основные формулы

◆ Закон Кулона: $F = Q_1 Q_2 / 4\pi \epsilon \epsilon_0 r^2$,

где F - сила взаимодействия точечных зарядов Q_1 и Q_2 ; r - расстояние между зарядами; ϵ - диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 - электрическая постоянная.

♦ Напряженность электрического поля и потенциал: $\vec{E} = \vec{F}/Q$, $\varphi = \Pi/Q$,

где Π - потенциальная энергия точечного положительного заряда Q , находящегося в данной точке поля (при условии, что потенциальная энергия заряда, удаленного в бесконечность, равна нулю).

♦ Сила, действующая на точечный заряд, находящийся в электрическом поле, и потенциальная энергия этого заряда: $\vec{F} = Q\vec{E}$, $\Pi = Q\varphi$.

♦ Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции электрических полей): $\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$, $\varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i$,

где \vec{E}_i, φ_i - напряженность и потенциал в данной точке поля, создаваемого i -м зарядом.

♦ Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом:

$$E = Q/(4\pi\epsilon_0\epsilon r^2), \quad \varphi = Q/(4\pi\epsilon_0\epsilon r),$$

где r - расстояние от заряда Q до точки, в которой определяются напряженность и потенциал.

♦ Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиусом R на расстоянии r от центра сферы:

$$\text{а) } E = 0, \quad \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} \quad (\text{при } r < R),$$

$$\text{б) } E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R^2}, \quad \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} \quad (\text{при } r = R),$$

$$\text{в) } E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}, \quad \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \quad (\text{при } r > R),$$

где Q - заряд сферы.

♦ Линейная плотность заряда: $\tau = Q/l$.

♦ Поверхностная плотность заряда: $\sigma = Q/S$.

♦ Напряженность и потенциал поля, создаваемого распределенными зарядами. Если заряд равномерно распределен вдоль линии с линейной плотностью τ , то на линии выделяется малый участок длиной dl с зарядом

$dQ = \tau dl$. Такой заряд можно рассматривать как точечный и применять

формулы:
$$d\vec{E} = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \frac{\vec{r}}{r}, \quad d\varphi = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0\epsilon r},$$

где \vec{r} - радиус-вектор, направленный от выделенного элемента dl к точке, в которой вычисляется напряженность.

Используя принцип суперпозиции электрических полей, находим, интегрированием напряженность E и потенциал φ поля, создаваемого

распределенным зарядом:
$$\vec{E} = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int \frac{dl \vec{r}}{r^2}, \quad \varphi = \frac{\tau}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \int \frac{dl}{r}.$$

Интегрирование ведется вдоль всей длины l заряженной линии.

◆ Напряженность поля, создаваемого бесконечной прямой равномерно заряженной линией или бесконечно длинным цилиндром: $E = \tau/(4\pi\epsilon_0\epsilon r)$,

где r - расстояние от нити или оси цилиндра до точки, напряженность поля в которой вычисляется.

◆ Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью: $E = \sigma/(2\epsilon_0\epsilon)$.

◆ Связь потенциала с напряженностью:

а) $\vec{E} = -grad\varphi$, или $\vec{E} = -\left(\vec{i} \frac{\partial\varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial\varphi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)$ (в общем случае);

б) $E = (\varphi_1 - \varphi_2)/d$ (в случае однородного поля);

в) $E = -\frac{d\varphi}{dr}$ (в случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией).

◆ Электрический момент диполя: $\vec{p} = |Q|\vec{l}$,

где Q - заряд; \vec{l} - плечо диполя (векторная величина, направленная от отрицательного заряда к положительному и численно равная расстоянию между зарядами).

◆ Работа сил поля по перемещению заряда Q из точки поля с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 : $A = Q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

♦ Электроемкость: $C = Q/\varphi$ или $C = Q/U$,

где φ - потенциал проводника (при условии, что в бесконечности потенциал проводника принимается равным нулю); U - разность потенциалов пластин конденсатора.

♦ Электроемкость уединенной проводящей сферы радиусом R :

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

♦ Электроемкость плоского конденсатора: $C = \varepsilon\varepsilon_0 S/d$,

где S - площадь пластины (одной) конденсатора; d - расстояние между пластинами.

♦ Электроемкость батареи конденсаторов:

$$\text{а) } \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} \text{ (при последовательном соединении);}$$

$$\text{б) } C = \sum_{i=1}^N C_i \text{ (при параллельном соединении),}$$

где N - число конденсаторов в батарее.

♦ Энергия заряженного конденсатора:

$$W = QU/2, W = CU^2/2, W = Q^2/2C.$$

♦ Сила тока: $I = Q/t$,

где Q - заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время t .

♦ Плотность тока: $j = I/S$,

где S - площадь поперечного сечения проводника.

♦ Связь плотности тока со средней скоростью $\langle v \rangle$ направленного движения заряженных частиц: $j = en \langle v \rangle$,

где e - заряд частицы; n - концентрация заряженных частиц.

♦ Закон Ома:

$$\text{а) } I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R} \text{ (для участка цепи, не содержащего э. д. с),}$$

где $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ - разность потенциалов (напряжение) на концах участка цепи;

R - сопротивление участка;

$$\text{б) } I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon}{R} \text{ (для участка цепи, содержащего э. д. с.),}$$

где ε - э. д. с. источника тока; R - полное сопротивление участка (сумма внешних и внутренних сопротивлений);

$$\text{в) } I = \frac{\varepsilon}{R + R_i} \text{ (для замкнутой (полной) цепи),}$$

где R - внешнее сопротивление цепи; R_i - внутреннее сопротивление цепи.

◆ Законы Кирхгофа:

$$\text{а) } \sum I_i = 0 \text{ (первый закон);}$$

$$\text{б) } \sum I_i R_i = \sum \varepsilon_i \text{ (второй закон),}$$

где $\sum I_i$ - алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле; $\sum I_i R_i$ - алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления участков; $\sum \varepsilon_i$ - алгебраическая сумма э. д. с.

◆ Сопротивление R и проводимость G проводника: $R = \rho l / S$; $G = \gamma S / l$,

где ρ - удельное сопротивление; γ - удельная проводимость; l - длина проводника; S - площадь поперечного сечения проводника.

◆ Сопротивление системы проводников:

$$\text{а) } R = \sum R_i \text{ (при последовательном соединении);}$$

$$\text{б) } \frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i} \text{ (при параллельном соединении),}$$

где R_i - сопротивление i -го проводника.

◆ Работа тока: $A = IUt$, $A = I^2 R t$, $A = U^2 t / R$.

Первая формула справедлива для любого участка цепи, на концах которого поддерживается напряжение U , последние две - для участка, не содержащего э. д. с.

◆ Мощность тока: $P = IU$; $P = I^2 R$; $P = U^2 / R$.

◆ Закон Джоуля - Ленца: $Q = I^2 R t$.

◆ Закон Ома в дифференциальной форме: $\vec{j} = \gamma \vec{E}$,

где γ - удельная проводимость, \vec{E} - напряженность электрического поля; \vec{j} -

плотность тока.

◆ Связь удельной проводимости с подвижностью b заряженных частиц (ионов): $\gamma = Qn(b_+ + b_-)$,

где Q - заряд иона; n - концентрация ионов; b_+ и b_- - подвижности положительных и отрицательных ионов.

Примеры решения задач

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

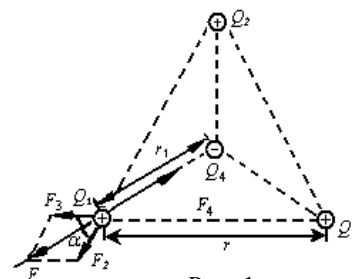


Рис. 1

РЕШЕНИЕ. Все три заряда, расположенные по вершинам 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_1 будет находиться в равновесии, если векторная сумма действующих на него сил равна нулю (рис. 1):

$$\vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{F} + \vec{F}_4 = 0, \quad (1)$$

где $\vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4$ - силы, с которыми соответственно действуют на заряд Q_1 заряды Q_2, Q_3, Q_4 ; \vec{F} - равнодействующая сил \vec{F}_2 и \vec{F}_3 . Так как силы \vec{F} и \vec{F}_4 направлены по одной прямой в противоположные стороны, то векторное равенство (1) можно заменить скалярным: $F - F_4 = 0$, откуда $F_4 = F$. Выразив в последнем равенстве F через F_2 и F_3 и учитывая, что $F_3 = F_2$, получим $F_4 = F_2 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}$.

Применив закон Кулона и учитывая, что $Q_1 = Q_2 = Q_3$, найдём

$$\frac{Q_1 Q_4}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = \frac{Q_1^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}, \text{ откуда } Q_4 = \frac{Q_1 r_1^2}{r^2} \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}. \quad (2)$$

Из геометрических построений в равностороннем треугольнике следует,

$$\text{что } r_1 = \frac{r/2}{\cos \alpha/2} = \frac{r}{2 \cos 30^\circ} = \frac{r}{\sqrt{3}}, \quad \cos \alpha = \cos 60^\circ = 1/2.$$

$$\text{С учетом этого формула (2) примет вид } Q_4 = Q_1/\sqrt{3}. \quad (3)$$

$$\text{Произведем вычисления: } Q_4 = 10^{-9}/\sqrt{3} = 5,77 \cdot 10^{-10} = 577 \text{ пКл.}$$

Следует отметить, что равновесие системы зарядов будет неустойчивым.

ПРИМЕР 2. На тонком стержне длиной $l = 20$ см находится равномерно распределенный электрический 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.

РЕШЕНИЕ. Сила взаимодействия F заряженного стержня с точечным зарядом Q_1 зависит от линейной плотности τ заряда на стержне. Зная эту зависимость, можно определить τ . При вычислении силы F 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 из стержня (рис. 2) малый участок dr с зарядом $dQ = \tau dr$. Этот заряд можно рассматривать как точечный. Тогда, согласно закону Кулона,

$$dF = \frac{Q_1 \tau dr}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

(1)



Рис. 2

Интегрируя это выражение в пределах от a до $a+l$, получаем

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

$$\text{Откуда } \tau = \frac{4\pi\epsilon_0 a(a+l)F}{Q_1 l}. \quad (2)$$

Проверим, дает ли расчетная формула единицу линейной плотности электрического заряда. Для этого в правую часть формулы (2) вместо

символов величин подставим их единицы:

$$\frac{[\varepsilon_0] [a] [a+l] [F]}{[Q] [l]} = \frac{1\Phi / м \cdot 1м \cdot 1м \cdot 1Н}{1Кл \cdot 1м} = \frac{1\Phi \cdot 1Н}{1Кл} = \frac{1Кл / В \cdot 1Н}{1Кл} =$$

$$= \frac{1Н}{1В} = \frac{1Н}{1Дж / Кл} = \frac{1Н \cdot 1Кл}{1Н \cdot м} = 1Кл/м$$

Найденная единица является единицей линейной плотности заряда.

Произведем вычисления:

$$\tau = \frac{0,1(0,1+0,2)6 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \cdot 0,2} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м} = 2,5 \text{ нКл/м.}$$

ПРИМЕР 3. Два точечных электрических заряда $Q_1 = 1 \text{ нКл}$ и $Q_2 = -2 \text{ нКл}$ находятся в воздухе на расстоянии $d = 10 \text{ см}$ друг от друга. Определить напряженность \vec{E} и потенциал φ поля, создаваемого этими зарядами в точке A , удаленной от заряда Q_1 на расстояние $r_1 = 9 \text{ см}$ и от заряда Q_2 на $r_2 = 7 \text{ см}$.

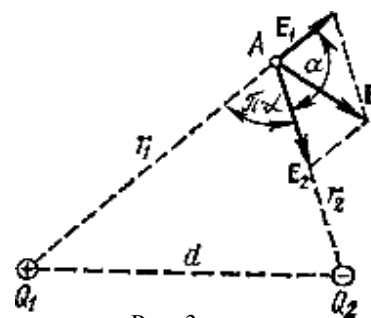


Рис. 3

РЕШЕНИЕ. Согласно принципу суперпозиции электрических полей каждый заряд создает поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность \vec{E} электрического поля в искомой точке может быть найдена как геометрическая сумма напряженностей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Напряженности электрического поля, создаваемого в воздухе ($\varepsilon = 1$) зарядами Q_1 и Q_2 :

$$E_1 = \frac{Q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} \quad (1), \quad E_2 = \frac{Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}. \quad (2)$$

Вектор \vec{E}_1 (рис. 3) направлен по силовой линии от заряда Q_1 , так как заряд Q_1 положителен; вектор \vec{E}_2 направлен также по силовой линии, но к заряду Q_2 , так как заряд Q_2 отрицателен. Модуль вектора \vec{E} найдем по теореме косинусов: $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}$, (3)

где α - угол между векторами \vec{E}_1 и \vec{E}_2 , который может быть найден из

треугольника со сторонами r_1 , r_2 и d : $\cos \alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2}$. В данном случае во

избежание громоздких записей удобно значение $\cos \alpha$ вычислить

$$\text{отдельно: } \cos \alpha = \frac{[(0,1)^2 - (0,09)^2 - (0,07^2)]}{(2 \cdot 0,09 \cdot 0,07)} = -0,238$$

Подставляя выражения E_1 из (1) и E_2 из (2) в (3) и вынося общий множитель $1/(4\pi\epsilon_0)$ за знак корня, получаем

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

В соответствии с принципом суперпозиции электрических полей потенциал φ результирующего поля, создаваемого двумя зарядами Q_1 и Q_2 , равен алгебраической сумме потенциалов, т. е. $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$. (5)

Потенциал электрического поля, создаваемого в вакууме точечным зарядом Q на расстоянии r от него, выражается формулой $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$. (6)

В нашем случае, согласно формулам (5) и (6), получим

$$\varphi = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} \right).$$

Произведем вычисления:

$$E = \frac{1}{4\pi/(4\pi \cdot 9 \cdot 10^9)} \sqrt{\frac{(10^{-9})^2}{(0,09)^4} + \frac{(2 \cdot 10^{-9})^2}{(0,07)^4} + 2 \frac{10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{(0,09)^2 \cdot (0,07)^2} (-0,238)} = 3,58 \cdot 10^3 \text{ В/м} = 3,58 \text{ кВ/м}.$$

При вычислении \vec{E} знак заряда Q_2 опущен, так как знак заряда определяет направление вектора напряженности, а направление E_2 было учтено при его графическом изображении (рис. 3):

$$\varphi = \frac{1}{4\pi/(4\pi \cdot 9 \cdot 10^9)} \left(\frac{10^{-9}}{0,09} + \frac{-2 \cdot 10^{-9}}{0,07} \right) = -157 \text{ В}.$$

ПРИМЕР 4. Электрическое поле создано длинным цилиндром радиусом $R = 1 \text{ см}$ равномерно заряженным с линейной плотностью $\tau = 20 \text{ нКл/м}$.

Определить разность потенциалов двух точек этого поля, находящихся на расстоянии $a_1 = 0,5$ см и $a_2 = 2$ см от поверхности цилиндра, в средней его части.

РЕШЕНИЕ. Для определения разности потенциалов воспользуемся соотношением между напряженностью поля и изменением потенциала: $E = -grad\varphi$. Для поля с осевой симметрией, каким является поле цилиндра, это соотношение можно записать в виде $E = -d\varphi/dr$, или $d\varphi = -E dr$.

Интегрируя это выражение, найдем разность потенциалов двух точек, отстоящих на расстояниях r_1 и r_2 от оси цилиндра:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\int_{r_1}^{r_2} E dr. \quad (1)$$

Так как цилиндр длинный и точки взяты вблизи его средней части, то для выражения напряженности поля можно воспользоваться формулой напряженности поля, создаваемого бесконечно длинным цилиндром:

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

Подставив выражение E в (1), получим

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{\tau}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \text{или} \quad \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (3)$$

Произведем вычисления, учитывая, что величины r_1 и r_2 , входящие в формулу (3) в виде отношения, можно выразить в сантиметрах ($r_1 = a_1 + R = 1,5$ см; $r_2 = a_2 + R = 3$ см):

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 2 \cdot 10^{-8} \cdot 1,8 \cdot 10^{10} \cdot \ln(3/1,5) = 3,6 \cdot 10^2 \cdot 2,3 \cdot \lg 2 = 250 \text{ В.}$$

ПРИМЕР 5. Электрическая цепь состоит из двух гальванических элементов, трех сопротивлений и гальванометра (рис. 4). В этой цепи $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 50$ Ом, $R_3 = 20$ Ом, э.д. с. элемента $\mathcal{E}_1 = 2$ В. Гальванометр регистрирует силу тока $I_3 = 50$ мА, идущего в направлении, указанном стрелкой. Определить э.д.с. \mathcal{E}_2 второго элемента. Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

Указание. Для расчета разветвленных цепей применяются законы Кирхгофа.

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 первому закону Кирхгофа считать токи, подходящие к узлу, положительными; токи, отходящие от узла, отрицательными. Число уравнений, составляемых по первому закону Кирхгофа, должно быть на единицу меньше, числа узлов, содержащихся в цепи.

3. При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа надо считать: а)

падение напряжения (т. е. произведение IR) входит в уравнение со знаком плюс, если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура; в противном случае произведение IR 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 второму закону Кирхгофа, должно быть меньше числа замкнутых контуров, имеющих в цепи. Для составления уравнений первый контур можно выбирать произвольно. Все последующие контуры следует выбирать таким образом, 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, получены отрицательные значения силы тока или сопротивления, то это означает, что ток через данное сопротивление в действительности течет в направлении,

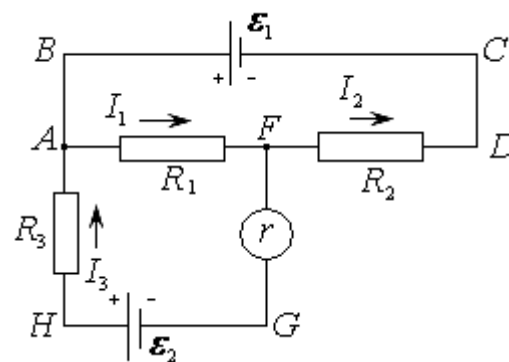


Рис. 4

противоположном произвольно выбранному.

РЕШЕНИЕ. Выберем направления токов, как они показаны на рис. 4, и условимся обходить контуры почасовой стрелке.

По первому закону Кирхгофа для узла *F* имеем

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0. \quad (1)$$

По второму закону Кирхгофа для контура *ABCDFA* имеем $-I_1R_1 - I_2R_2 = -\varepsilon_1$, или $I_1R_1 + I_2R_2 = \varepsilon_1$.

(2)

Соответственно для контура *AFGHA*: $I_1R_1 + I_3R_3 = \varepsilon_2$. (3)

После подстановки числовых значений в формулы (1), (2) и (3) получим

$$I_1 - I_2 - 0,05 = 0; 50I_1 + 25I_2 = 1; 100I_1 + 0,05 \cdot 20 = \varepsilon_2.$$

Перенеся в этих уравнениях неизвестные величины в левые части, а известные - в правые, получим следующую систему уравнений:

$$I_1 - I_2 = 0,05; 50I_1 + 25I_2 = 1; 100I_1 - \varepsilon_2 = -1.$$

Эту систему с тремя неизвестными можно решить обычными приемами алгебры, но так как по условию задачи требуется определить только одно неизвестное ε_2 из трех, то воспользуемся методом определителей.

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 $\Delta\varepsilon_2$:

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_2 &= \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0,05 \\ 50 & 25 & 1 \\ 100 & 0 & -1 \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} 25 & 1 \\ 0 & -1 \end{vmatrix} - (-1) \begin{vmatrix} 50 & 1 \\ 100 & -1 \end{vmatrix} + 0,05 \begin{vmatrix} 50 & 25 \\ 100 & 0 \end{vmatrix} = \\ &= -25 - 50 - 100 - 125 = -300. \end{aligned}$$

Разделив определитель $\Delta\varepsilon_2$ на определитель Δ , найдем числовое значение э. д. с: $\{\varepsilon_2\} = \Delta\varepsilon_2/\Delta = -300/(-75) = 4$. Следовательно, $\varepsilon_2 = 4$ В.

Раздел IV Электromагнетизм. Электromагнитные колебания и волны

Основные формулы

♦ Связь магнитной индукции \vec{B} с напряженностью \vec{H} магнитного поля:

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

где μ - магнитная проницаемость изотропной среды; μ_0 - магнитная постоянная. В вакууме $\mu = 1$, и тогда магнитная индукция в вакууме $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$

♦ Закон Био – Савара – Лапласа:

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

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

♦ Магнитная индукция в центре кругового тока:

$$B = \frac{\mu_0 \mu I}{2R}, \text{ где } R - \text{ радиус кругового витка.}$$

♦ Магнитная индукция на оси кругового тока:

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{2\pi R^2 I}{(R^2 + h^2)^{3/2}}, \text{ где } h - \text{ расстояние от центра витка до точки, в}$$

которой определяется магнитная индукция.

♦ Магнитная индукция поля прямого тока:

$B = \mu_0 \mu I / (2\pi r_0)$, где r_0 - расстояние от оси проводника до точки, в которой определяется магнитная индукция.

♦ Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком провода с током:

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

При симметричном расположении концов провода относительно точки, в которой определяется магнитная индукция: $B = \frac{\mu_0 \mu I}{2\pi r_0} \cos \alpha$.

♦ Магнитная индукция поля соленоида: $B = \mu_0 \mu n I$, где n - отношение числа витков соленоида к его длине.

◆ Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле (закон Ампера): $\vec{F} = I[\vec{l}\vec{B}]$, или $F = IBl\sin\alpha$, где l - длина проводника; α - угол между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции \vec{B} . Это выражение справедливо для однородного магнитного поля и прямого отрезка проводника. Если поле неоднородно и проводник не является прямым, то закон Ампера можно применять к каждому элементу проводника в отдельности: $\vec{F} = I[d\vec{l}\vec{B}]$.

◆ Сила взаимодействия параллельных проводов с током:

$$F = \mu_0 \mu I_1 I_2 l / (2\pi d), \text{ где } d - \text{расстояние между проводами.}$$

◆ Магнитный момент плоского контура с током: $\vec{p}_m = \vec{n}IS$,

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

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

$$\vec{M} = [\vec{p}_m \vec{B}], \text{ или } M = p_m B \sin\alpha, \text{ где } \alpha - \text{угол между векторами } \vec{p}_m \text{ и } \vec{B}.$$

◆ Потенциальная энергия (механическая) контура с током в магнитном поле: $\Pi_{\text{мех}} = -\vec{p}_m \vec{B}$, или $\Pi_{\text{мех}} = -p_m B \cos\alpha$.

◆ Отношение магнитного момента p_m к механическому L (моменту импульса) заряженной частицы, движущейся по круговой орбите:

$$\frac{p_m}{L} = \frac{1}{2} \frac{Q}{m}, \text{ где } Q - \text{заряд частицы; } m - \text{масса частицы.}$$

◆ Сила Лоренца: $\vec{F} = Q[\vec{v}\vec{B}]$, или $F = QvB\sin\alpha$, где v - скорость заряженной частицы; α - угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

◆ Магнитный поток:

а) в случае однородного магнитного поля и плоской поверхности

$$\Phi = BS\cos\alpha, \text{ где } S - \text{площадь контура; } \alpha - \text{угол между нормалью к}$$

плоскости контура и вектором магнитной индукции;

б) в случае неоднородного поля и произвольной поверхности

$$\Phi = \int_S B_n dS \text{ (интегрирование ведется по всей поверхности).}$$

◆ Потокосцепление (полный поток): $\psi = N\Phi$.

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

◆ Работа по перемещению замкнутого контура в магнитном поле:

$$A = I\Delta\Phi.$$

◆ Э. д. с. индукции $\varepsilon_i = -\frac{d\psi}{dt}$.

◆ Разность потенциалов на концах проводника, движущегося со скоростью \vec{v} в магнитном поле: $U = Blv \sin \alpha$, где l - длина проводника; α - угол между векторами \vec{v} и \vec{B} .

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

$$Q = \Delta\Phi/R \text{ или } Q = N\Delta\Phi/R = \Delta\psi/R, \text{ где } R \text{ - сопротивление контура.}$$

◆ Индуктивность контура: $L = \psi/I$.

◆ Э. д. с. самоиндукции: $\varepsilon_s = -L\frac{dI}{dt}$.

◆ Индуктивность соленоида: $L = \mu_0 \mu n^2 V$, где n - отношение числа витков соленоида к его длине; V - объем соленоида.

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

а) $I = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-Rt/L})$ (при замыкании цепи), где ε - э. д. с. источника тока; t -

время, прошедшее после замыкания цепи;

б) $I = I_0 e^{-Rt/L}$ (при размыкании цепи), где I_0 - сила тока в цепи при $t = 0$;

t - время, прошедшее с момента размыкания цепи.

◆ Энергия магнитного поля: $W = \frac{LI^2}{2}$.

◆ Объемная плотность энергии магнитного поля (отношение энергии

магнитного поля соленоида к его объему):

$\omega = BH/2$, или $\omega = B^2/(2\mu_0\mu)$, или $\omega = \mu_0\mu H^2/2$, где B - магнитная индукция; H - напряженность магнитного поля.

Примеры решения задач

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

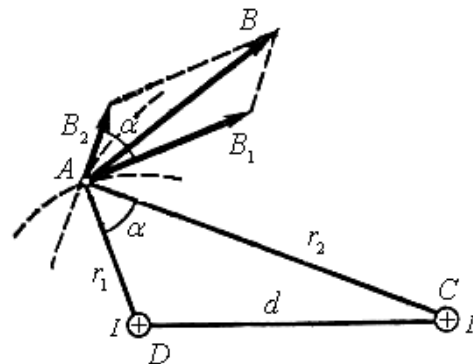


Рис. 5

РЕШЕНИЕ. Для нахождения магнитной индукции \vec{B} в точке A воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей. Для этого определим направления магнитных индукций \vec{B}_1 и \vec{B}_2 полей, создаваемых каждым проводником с током в отдельности, и сложим их геометрически:

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

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

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

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

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

$$B_1 = \mu_0 I / (2\pi r_1); \quad B_2 = \mu_0 I / (2\pi r_2). \quad (2)$$

Подставляя выражения B_1 и B_2 в формулу (1) и вынося $\mu_0 I / (2\pi)$ за знак корня, получаем $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{1}{r_1 r_2} \cos \alpha}$.

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

$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2 \cos \alpha$, где d – расстояние между проводами. Отсюда

$$\cos \alpha = \frac{(r_1^2 + r_2^2 - d^2)}{2r_1r_2}; \quad \cos \alpha = \frac{5^2 + 12^2 - 10^2}{2 \cdot 5 \cdot 12} = \frac{23}{40}.$$

Подставим в формулу (3) числовые значения физических величин и произведем вычисления:

$$B = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 60}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{1}{(0,05)^2} + \frac{1}{(0,12)^2} + \frac{1}{0,05 \cdot 0,12}} \cdot \frac{23}{40} = 3,08 \cdot 10^{-4} = 308 \text{ мкТл}.$$

ПРИМЕР 2. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной $a=10$ см, течет ток силой $I=100$ А. Найти магнитную индукцию \vec{B} в точке O пересечения диагоналей квадрата.

РЕШЕНИЕ. Расположим квадратный виток в плоскости чертежа (рис. 6). Согласно принципу суперпозиции магнитных полей

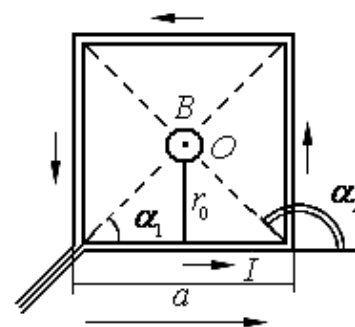


Рис. 6

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \vec{B}_4, \quad (1)$$

где $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3, \vec{B}_4$ – магнитные индукции полей, создаваемых токами, протекающими по каждой стороне квадрата.

В точке O пересечения диагоналей квадрата все векторы индукции будут направлены перпендикулярно плоскости витка «к нам». Кроме того, из соображений симметрии следует, что модули этих векторов одинаковы: $B_1 = B_2 = B_3 = B_4$. Это позволяет векторное равенство (1) заменить скалярным:

$$B = 4B_1. \quad (2)$$

Магнитная индукция поля, создаваемого отрезком прямолинейного провода с током, выражается формулой

$$B_1 = \mu_0 I (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) / (4\pi r_0). \quad (3)$$

Учитывая, что $\alpha_2 = \pi - \alpha_1$ и $\cos \alpha_2 = -\cos \alpha_1$ (рис. 16), формулу (3) можно переписать в виде $B_1 = \mu_0 I \cos \alpha_1 / (2\pi r_0)$.

Подставив выражение B_1 в формулу (2), найдем $B = 2 \mu_0 I \cos \alpha_1 / (\pi r_0)$.

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

$$B = 2/\sqrt{2} \mu_0 I / (\pi a). \quad (4)$$

Проверим, дает ли расчетная формула единицу магнитной индукции. Для этого в правую часть формулы вместо символов величин подставим обозначения их единиц:

$$\frac{[\mu_0] [I]}{[a]} = \frac{1 \text{ Гн} / \text{м} \cdot 1 \text{ А}}{1 \text{ м}} = \frac{1 \text{ Гн} \cdot \text{А}}{1 \text{ м}^2} = \frac{1 \text{ Вб}}{1 \text{ м}^2} = 1 \text{ Тл}.$$

Найденная единица является единицей магнитной индукции.

$$\text{Вычислим: } B = \frac{2\sqrt{2} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^2}{\pi \cdot 0,1} = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}.$$

ПРИМЕР 3. Плоский квадратный контур со стороной $a=10\text{см}$, по которому течет ток силой $I=100\text{А}$, свободно установился в однородном магнитном поле ($B=1 \text{ Тл}$). Определить работу A , совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол: 1) $\varphi_1 = 90^\circ$; 2) $\varphi_2 = 3^\circ$. При повороте контура сила тока в нем поддерживается неизменной.

РЕШЕНИЕ. Как известно, на контур с током в магнитном поле действует момент силы (рис. 7): $M = p_m B \sin \varphi$, (1)

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

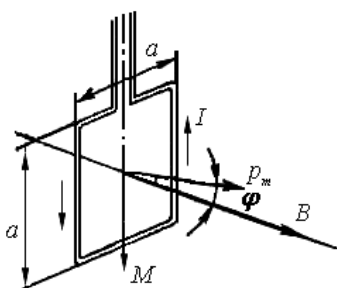


Рис. 7

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

работы в дифференциальной форме $dA = Md\varphi$. Учитывая формулу (1), получаем $dA = IBa^2 \sin \varphi d\varphi$.

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

$$\text{угол: } A = IBa^2 \int_0^{\varphi} \sin \varphi d\varphi. \quad (2)$$

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

$$A_1 = IBa^2 \int_0^{\pi/2} \sin \varphi d\varphi = IBa^2 [(-\cos \varphi)]_0^{\pi/2} = IBa^2. \quad (3)$$

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

Работа при повороте на угол $\varphi_2 = 3^\circ$. В этом случае, учитывая, что угол

$$\varphi_2 \text{ мал, заменим в выражении (2) } \sin \varphi \approx \varphi: A_2 = IBa^2 \int_0^{\varphi_2} \varphi d\varphi = \frac{1}{2} IBa^2 \varphi_2^2. \quad (4)$$

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

Раздел V Оптика

Основные формулы

◆ Скорость света в среде: $v = c/n$, где c - скорость света в вакууме; n - показатель преломления среды.

◆ Оптическая длина пути световой волны: $L = nl$, где l - геометрическая длина пути световой волны в среде с показателем преломления n .

◆ Оптическая разность хода двух световых волн: $\Delta = L_1 - L_2$.

◆ Зависимость разности фаз от оптической разности хода световых волн:

$$\Delta\varphi = 2\pi(\Delta/\lambda), \text{ где } \lambda \text{ - длина световой волны.}$$

◆ Условие максимального усиления света при интерференции:

$$\Delta = \pm k\lambda, \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

◆ Условие максимального ослабления света: $\Delta = \pm(2k + 1)\lambda/2$.

◆ Оптическая разность хода световых волн, возникающая при отражении монохроматического света от тонкой пленки: $\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} + \lambda/2$ или

$$\Delta = 2dn \cos i_2 + \lambda/2, \text{ где } d \text{ - толщина пленки; } n \text{ - показатель преломления}$$

пленки; i_1 - угол падения; i_2 - угол преломления света в пленке.

◆ Радиус светлых колец Ньютона в отраженном свете:

$r_k = \sqrt{(2k-1)R\lambda/2}$ ($k = 1, 2, 3, \dots$), где k - номер кольца; R - радиус кривизны.

◆ Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете: $r_k = \sqrt{kR\lambda}$.

◆ Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия:

$a \sin \varphi = (2k+1)\lambda/2$ ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$), где a - ширина щели; k - порядковый номер максимума.

◆ Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции света на дифракционной решетке, определяется из условия: $d \sin \varphi = \pm k\lambda$, ($k = 0, 1, 2, 3, \dots$), где d - период дифракционной решетки.

◆ Разрешающая способность дифракционной решетки: $R = \lambda/\Delta\lambda = kN$, где $\Delta\lambda$ - наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta\lambda$), при которой эти линии могут быть видны отдельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N - полное число щелей решетки.

◆ Формула Вульфа – Брэггов: $2d \sin \theta = k\lambda$, где θ - угол скольжения (угол между направлением параллельного пучка рентгеновского излучения, падающего на кристалл, и атомной плоскостью в кристалле); d - расстояние между атомными плоскостями кристалла.

◆ Закон Брюстера: $\operatorname{tg} i_1 = n_{21}$, где i_1 - угол падения, при котором отразившийся от диэлектрика луч полностью поляризован; n_{21} - относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

◆ Закон Малюса: $I = I_0 \cos^2 \alpha$, где I_0 - интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I - интенсивность этого света после анализатора; α - угол между направлением колебаний электрического вектора света, падающего на анализатор, и плоскостью

пропускания анализатора (если колебания электрического вектора падающего света совпадают с этой плоскостью, то анализатор пропускает данный свет без ослабления).

◆ Угол поворота плоскости поляризации монохроматического света при прохождении через оптически активное вещество:

а) $\varphi = \alpha d$ (в твердых телах), где α - постоянная вращения; d - длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) $\varphi = [\alpha] \rho d$ (в растворах), где $[\alpha]$ - удельное вращение; ρ - массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

◆ Релятивистская масса: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$ или $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$,

где m_0 - масса покоя частицы; v - ее скорость; c - скорость света в вакууме; β - скорость частицы, выраженная в долях скорости света ($\beta = v/c$).

◆ Взаимосвязь массы и энергии релятивистской частицы:

$$E = mc^2, \text{ или } E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \text{ где } E_0 = m_0 c^2 - \text{энергия покоя частицы.}$$

◆ Полная энергия свободной частицы: $E = E_0 + T$, где T - кинетическая энергия релятивистской частицы.

◆ Кинетическая энергия релятивистской частицы:

$$T = (m - m_0)c^2, \text{ или } T = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right).$$

◆ Импульс релятивистской частицы:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \text{ или } p = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

◆ Связь между полной энергией и импульсом релятивистской частицы:

$$E^2 = E_0^2 + (pc)^2.$$

◆ Закон Стефана – Больцмана: $R_e = \sigma T^4$, где R_e - энергетическая светимость (излучательность) абсолютно черного тела; σ - постоянная Стефана – Больцмана; T - термодинамическая температура Кельвина.

◆ Закон смещения Вина: $\lambda_m = b/T$, где λ_m - длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b - постоянная Вина.

◆ Энергия фотона: $\varepsilon = h\nu$, или $\varepsilon = \hbar\omega$, где h - постоянная Планка; \hbar - постоянная Планка, деленная на 2π ; ν - частота фотона; ω - циклическая частота.

◆ Масса фотона: $m = \varepsilon/c^2 = h/(c\lambda)$, где c - скорость света в вакууме; λ - длина волны фотона.

◆ Импульс фотона: $p = mc = h/\lambda$.

◆ Формула Эйнштейна для фотоэффекта: $h\nu = A + T_{\max} = A + m\nu_{\max}^2/2$,

где $h\nu$ - энергия фотона, падающего на поверхность металла; A - работа выхода электрона; T_{\max} - максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

◆ Красная граница фотоэффекта: $\nu_0 = A/h$, или $\lambda_0 = hc/A$,

где ν_0 - минимальная частота света, при которой еще возможен фотоэффект; λ_0 - максимальная длина волны света, при которой еще возможен фотоэффект; h - постоянная Планка; c - скорость света в вакууме.

◆ Формула Комптона:

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta), \text{ или } \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\frac{h}{m_0c}\sin^2\frac{\theta}{2},$$

где λ - длина волны фотона, встретившегося со свободным или слабо связанным электроном; λ' - длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном; m_0 - масса покоящегося электрона.

◆ Комптоновская длина волны: $\Lambda = h/(m_0c)$ ($\Lambda = 2,436\text{пм}$).

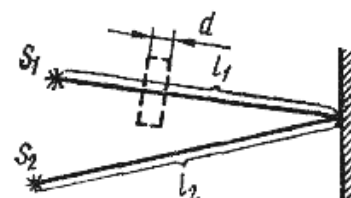
◆ Давление света при нормальном падении на поверхность:

$$p = E_e(1 + \rho)/c = \omega(1 + \rho),$$

где E_e - энергетическая освещенность (облученность); ω - объемная плотность энергии излучения; ρ - коэффициент отражения.

Примеры решения задач

ПРИМЕР 1. От двух когерентных источников



S_1 и S_2 ($\lambda = 0,8 \text{ мкм}$) лучи падают на экран. На экране наблюдается интерференционная картина. Когда на пути одного из лучей перпендикулярно ему поместили мыльную пленку ($n = 1,33$), интерференционная картина изменилась на противоположную. При какой наименьшей толщине d_{\min} пленки это возможно?

РЕШЕНИЕ. Изменение интерференционной картины на противоположную означает, что на тех участках экрана, где наблюдались интерференционные максимумы, стали наблюдаться интерференционные минимумы. Такой сдвиг интерференционной картины возможен при изменении оптической разности хода пучков световых волн на нечетное число половин длин волн, т. е. $\Delta_2 - \Delta_1 = (2k + 1)\lambda/2$, (1)

где Δ_1 - оптическая разность хода пучков световых волн до внесения пленки; Δ_2 - оптическая разность хода тех же пучков после внесения пленки; $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Наименьшей толщине d_{\min} пленки соответствует $k=0$. При этом формула (1) примет вид: $\Delta_2 - \Delta_1 = \lambda/2$. (2)

Выразим оптические разности хода Δ_2 и Δ_1 . Из рисунка 8 следует: $\Delta_1 = l_1 - l_2$, $\Delta_2 = [(l_1 - d_{\min}) + nd_{\min}] - l_2 = (l_1 - l_2) + d_{\min}(n - 1)$.

Подставим выражения Δ_1 и Δ_2 в формулу (2):

$$(l_1 - l_2) + d_{\min}(n - 1) - (l_1 - l_2) = \lambda/2, \text{ или } d_{\min}(n - 1) = \lambda/2.$$

$$\text{Отсюда } d_{\min} = \lambda/[2(n - 1)]. \quad (3)$$

$$\text{Произведем вычисления: } d_{\min} = \frac{0,8}{2(1,33 - 1)} \cdot 10^{-6} = 1,21 \text{ мкм.}$$

ПРИМЕР 2. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, $\lambda_0 = 0,58 \text{ мкм}$. Определить энергетическую светимость (излучательность) R_e поверхности тела.

РЕШЕНИЕ. Энергетическая светимость R_e абсолютно черного тела в соответствии с законом Стефана – Больцмана пропорциональна четвертой степени термодинамической температуры и выражается формулой

$$R_e = \sigma T^4, \quad (1)$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана; T – термодинамическая температура.

Температуру T можно выразить с помощью закона смещения Вина:

$$\lambda_0 = b/T \quad (2), \text{ где } b \text{ – постоянная закона смещения Вина.}$$

$$\text{Используя формулы (1) и (2), получаем } R_e = \sigma(b/\lambda_0)^4. \quad (3)$$

$$\text{Произведем вычисления: } R_e = 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{5,8 \cdot 10^{-7}} \right)^4 = 3,54 \cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2.$$

$$U = \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3,75 \cdot 10^{-4}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5,3 \cdot 10^{13} (5,4 + 7,4) \cdot 10^{-4} \cdot 6,26 \cdot 10^{-4}} = 110 \text{ В.}$$

Раздел VI Физика атомов и атомного ядра. Элементарные частицы.

Основы квантовой механики

Основные формулы

Боровская теория

◆ Момент импульса электрона (второй постулат Бора):

$$L_n = \hbar n, \text{ или } m v_n r_n = \hbar n,$$

где m – масса электрона; v_n – скорость электрона на n – й орбите; r_n – радиус n – й стационарной орбиты; \hbar – постоянная Планка; n – главное квантовое число ($n=1,2,\dots$).

◆ Радиус n – й стационарной орбиты: $r_n = a_0 n^2$, где a_0 – радиус Бора.

◆ Энергия электрона в атоме водорода: $E_n = E_i/n^2$,

где E_i – энергия ионизации атома водорода.

◆ Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода:

$$\varepsilon = \hbar \omega = E_{n_2} - E_{n_1}, \text{ или } \varepsilon = E_i \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где n_1 и n_2 – квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

◆ Спектроскопическое волновое число: $\nu = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$,

где λ – длина волны излучения или поглощения атомом; R – постоянная Ридберга.

Волновые свойства частиц

♦ Длина волны де Бройля: $\lambda = 2\pi\hbar/p$, где p – импульс частицы.

♦ Импульс частицы и его связь с кинетической энергией T :

а) $p = m_0v$; $p = \sqrt{2mT}$;

б) $p = m\upsilon = \frac{m_0\upsilon}{\sqrt{1-(\upsilon/c)^2}}$; $p = \frac{1}{c}\sqrt{(2E_0 + T)T}$,

где m_0 – масса покоя частицы; m – релятивистская масса; v – скорость частицы; c – скорость света в вакууме; E_0 – энергия покоя частицы ($E_0 = m_0c^2$).

♦ Соотношение неопределенностей:

а) $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar$ (для координаты и импульса);

где Δp_x – неопределенность проекции импульса на ось x ; Δx – неопределенность координаты;

б) $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ (для энергии и времени),

где ΔE – неопределенность энергии; Δt – время жизни квантовой системы в данном энергетическом состоянии.

Полупроводники

♦ Удельная проводимость собственных полупроводников:

$\gamma = en(b_n + b_p)$, где e – элементарный заряд; n – концентрация носителей

заряда (электронов и дырок): b_n и b_p – подвижности электронов и дырок.

Магнетики

♦ Связь магнитной индукции \vec{B} с напряженностью \vec{H} магнитного поля в изотропном магнетике:

$\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H}$, где μ – магнитная проницаемость среды; μ_0 – магнитная

постоянная.

♦ Намагниченность однородного изотропного магнетика:

$$\vec{J} = \sum_{i=1}^N \frac{p_{m_i}}{V}, \text{ где } p_{m_i} - \text{ магнитный момент } i\text{-й молекулы (атома); } N - \text{ число}$$

молекул в объеме V .

♦ Молярная намагниченность однородного изотропного магнетика:

$$\vec{J}_m = \frac{\sum_{i=1}^N p_{m_i}}{m/\mu} = \frac{M}{\rho} \vec{J}, \text{ где } m - \text{ масса магнетика; } M - \text{ молярная масса; } \rho -$$

плотность магнетика.

♦ Удельная намагниченность однородного изотропного магнетика:

$$\vec{J}_{\text{уд}} = \frac{\sum_{i=1}^N p_{m_i}}{m} = \frac{1}{\rho} \vec{J}.$$

♦ Связь магнитной восприимчивости с магнитной проницаемостью:

$$\mu = 1 + \chi.$$

Атомное ядро. Радиоактивность

♦ Массовое число ядра (число нуклонов в ядре):

$A = Z + N$, где Z – зарядовое число (число протонов); N – число нейтронов.

♦ Закон радиоактивного распада: $dN = -\lambda N dt$, или $N = N_0 e^{-\lambda t}$,

где dN – число ядер, распадающихся за интервал времени dt ; N – число ядер, не распавшихся к моменту времени t ; N_0 – число ядер в начальный момент ($t=0$); λ – постоянная радиоактивного распада.

♦ Число ядер, распавшихся за время t : $\Delta N = N_0 - N = N_0(1 - e^{-\lambda t})$.

В случае если интервал времени Δt , за который определяется число распавшихся ядер, много меньше периода полураспада $T_{1/2}$, то число распавшихся ядер можно определить по формуле $\Delta N = \lambda N \Delta t$.

♦ Зависимость периода полураспада от постоянной радиоактивного распада: $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda$.

♦ Среднее время τ жизни радиоактивного ядра, т. е. интервал времени, за который число не распавшихся ядер уменьшается в 2 раза: $\tau = 1 / \lambda$.

♦ Число N атомов, содержащихся в радиоактивном изотопе: $N = mN_A/M$,

где m – масса изотопа; M – молярная масса; N_A – постоянная Авогадро.

♦ Активность A радиоактивного изотопа:

$$A = -dN/dt = \lambda N, \text{ или } A = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

где dN – число ядер, распадающихся за интервал времени dt ; A_0 – активность изотопа в начальный момент времени.

♦ Удельная активность изотопа: $a = A/m$.

♦ Дефект массы ядра: $\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}$,

где Z – зарядовое число (число протонов в ядре); A – массовое число (число нуклонов в ядре); $(A - Z)$ – число нейтронов в ядре; m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ – масса ядра.

♦ Энергия связи ядра: $E_{\text{св}} = \Delta mc^2$,

где Δm – дефект массы ядра; c – скорость света в вакууме.

Во внесистемных единицах энергия связи ядра равна $E_{\text{св}} = 931\Delta m$, где дефект массы Δm в а. е. м.; 931 – коэффициент пропорциональности (1 а. е. м. ~ 931 МэВ).

Примеры решения задач

ПРИМЕР 1. Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить энергию испущенного при этом фотона.

РЕШЕНИЕ. Для определения энергии фотона воспользуемся серийной

формулой для водородоподобных ионов: $\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$, (1)

где λ – длина волны фотона; R – постоянная Ридберга; Z – заряд ядра в относительных единицах (при $Z=1$ формула переходит в серийную формулу для водорода); n_1 – номер орбиты, на которую перешел электрон; n_2 – номер орбиты, с которой перешел электрон (n_1 и n_2 – главные квантовые числа).

Энергия фотона ε выражается формулой: $\varepsilon = hc/\lambda$.

Поэтому, умножив обе части равенства (1) на hc , получим выражение для энергии фотона: $\varepsilon = RhcZ^2\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$.

Так как Rhc есть энергия ионизации E_i атома водорода, то

$$\varepsilon = E_i Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Вычисления выполним во внесистемных единицах: $E_i=13,6\text{эВ}$; $Z=1$; $n_1=2$;

$$n_2=4: \varepsilon = 13,6 \cdot 1^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) = 2,55 \text{эВ}.$$

ПРИМЕР 2. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра ${}^7_3\text{Li}$.

РЕШЕНИЕ. Масса ядра всегда меньше суммы масс свободных (находящихся вне ядра) протонов и нейтронов, из которых ядро образовалось. Дефект массы ядра Δm есть разность между суммой масс свободных нуклонов (протонов и нейтронов) и массой ядра т. е.

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}}, \quad (1)$$

где Z – атомный номер (число протонов в ядре); A – массовое число (число нуклонов, составляющих ядро); m_p , m_n , $m_{\text{я}}$ – соответственно массы протона, нейтрона и ядра.

В справочных таблицах всегда даются массы нейтральных атомов, но не ядер, поэтому формулу (1) можно преобразовать так, чтобы в нее входила масса $m_{\text{а}}$ нейтрального атома. Можно считать, что масса нейтрального атома равна сумме масс ядра и электронов, составляющих электронную оболочку атома: $m_{\text{а}} = m_{\text{я}} + Zm_e$, откуда $m_{\text{я}} = m_{\text{а}} - Zm_e$. (2)

Выразив в равенстве (1) массу ядра по формуле (2), получаем

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{а}} + Zm_e, \text{ или } \Delta m = Z(m_p + m_e) + (A - Z)m_n - m_{\text{а}}.$$

Замечая, что $m_p + m_e = m_{\text{H}}$, где m_{H} – масса атома водорода, окончательно находим: $\Delta m = Zm_{\text{H}} + (A - Z)m_n - m_{\text{а}}$. (3)

Подставив в выражение (3) числовые значения масс (см. приложение), получим: $\Delta m = [3 \cdot 1,00783 + (7 - 3) \cdot 1,00867 - 7 \cdot 0,1601] = 0,04216 \text{ а. е. м.}$

В соответствии с законом пропорциональности массы и энергии

$$E = c^2 \Delta m. \quad (4)$$

где c – скорость света в вакууме.

Коэффициент пропорциональности c^2 может быть выражен двояко:

$$c^2 = 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 \text{ или } c^2 = \Delta E / \Delta m = 9 \cdot 10^{16} \text{ Дж/кг.}$$

Если вычислить энергию связи, пользуясь внесистемными единицами, то $c^2 = 931 \text{ МэВ/а. е. м.}$ С учетом этого формула (4) примет вид:

$$E = 931 \Delta m \text{ (МэВ)}. \quad (5)$$

Подставив найденное значение дефекта массы ядра в формулу (5), получим: $E = 931 \cdot 0,04216$ $\text{МэВ} = 39,2$ МэВ.

**Таблица вариантов к контрольной работе №2 для студентов 2-го курса
направления подготовки «Землеустройство и кадастры»**

Последняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра	
	0 и четная	нечетная
0	2 22 42 62 82 102 122 142 162 182	1 21 41 61 81 101 121 141 161 181
1	4 24 44 64 84 104 124 144 164 184	3 23 43 63 83 103 123 143 163 183
2	6 26 46 66 86 106 126 146 166 186	5 25 45 65 85 105 125 145 165 185
3	8 28 48 68 88 108 128 148 168 188	7 27 47 67 87 107 127 147 167 187
4	10 30 50 70 90 110 130 150 170 190	9 29 49 69 89 109 129 149 169 189
5	12 32 52 72 92 112 132 152 172 192	11 31 51 71 91 111 131 151 171 191
6	14 34 54 74 94 114 134 154 174 194	13 33 53 73 93 103 133 153 173 193
7	16 36 56 76 96 116 136 156 176 196	15 35 55 75 95 105 135 155 175 195
8	18 38 58 78 98 118 138 158 178 198	17 37 57 77 97 107 137 157 177 197
9	20 40 60 80 100 120 140 160 180 200	19 39 59 79 99 109 139 159 179 199

1. Электростатическое поле создано бесконечной заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $\sigma=1$ мкКл/м² и точечным зарядом $q=2$ мкКл, находящимся на расстоянии $a=0,5$ м от плоскости. Определить напряженность поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1=0,5$ м от плоскости и $r_2=0,5$ м от заряда.
2. Электрическое поле создано двумя концентрическими проводящими сферами радиусами $R_1=10$ см и $R_2=90$ см, несущими заряды $q_1=2$ нКл и $q_2=1$ нКл. Определить напряженность поля в точках на расстояниях $r_1=80$ см, и $r_2=1$ м от центра сфер.
3. Электрическое поле создано двумя параллельными бесконечными плоскостями с поверхностными плотностями зарядов 150 мкКл/м² и 240 мкКл/м², соответственно. Определить напряженность поля между плоскостями, справа и слева от плоскостей.
4. Электрическое поле создано двумя бесконечными параллельными нитями, заряженными с линейными плотностями $\tau_1=0,1$ мкКл/м, $\tau_2=0,01$ мкКл/м, находящимися на расстоянии $a=10$ см друг от друга. Определить напряженность поля в точке на расстоянии $r_1=8$ см от первой и $r_2=12$ см от второй нити.
5. Электрическое поле создано бесконечной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $\sigma=200$ нКл/м² и бесконечной нитью с линейной плотностью $\tau=0,1$ мкКл/м, проходящей параллельно плоскости на расстоянии $a=0,2$ м. Определить напряженность поля в точке на расстоянии $r_1=0,5$ м от плоскости и $r_2=0,3$ м от нити.

6. Электрическое поле создано бесконечной заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $\sigma = -1 \text{ мкКл/м}^2$ и точечным зарядом $q = -2 \text{ мкКл}$, находящимся на расстоянии $a = 0,5 \text{ м}$ от плоскости. Определить напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии $r_1 = 0,2 \text{ м}$ от плоскости и $r_2 = 0,5 \text{ м}$ от заряда.
7. Электрическое поле создано бесконечной заряженной нитью с линейной плотностью заряда $\tau = 100 \text{ мкКл/м}$ и заряженной сферой радиусом $R = 0,2 \text{ м}$, с зарядом $q = -500 \text{ мкКл}$. Расстояние между центром сферы и нитью $a = 1 \text{ м}$. Определить напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии $r_1 = 0,2 \text{ м}$ от нити и $r_2 = 1,2 \text{ м}$ от центра сферы.
8. Электрическое поле создано двумя концентрическими сферами радиусами $R_1 = 10 \text{ см}$ и $R_2 = 50 \text{ см}$, несущими заряды $q_1 = 2 \text{ нКл}$ и $q_2 = -1 \text{ нКл}$. Определить напряженность поля в точках на расстояниях $r_1 = 0,3 \text{ м}$, $r_2 = 1,4 \text{ м}$, от центра сфер.
9. Электрическое поле создано двумя заряженными бесконечными нитями, лежащими в параллельных плоскостях и скрещенных под прямым углом. Линейные плотности зарядов нитей равны: $\tau_1 = -0,2 \text{ мкКл/м}$, $\tau_2 = 0,2 \text{ мкКл/м}$. Найти напряженность поля в точке, расположенной на расстоянии $r_1 = 13 \text{ см}$ от первой и $r_2 = 5 \text{ см}$ от второй нити. Расстояние между нитями $d = 13 \text{ см}$.
10. Электрическое поле создано бесконечной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $\sigma = -200 \text{ нКл/м}^2$ и заряженной сферой радиусом $R = 20 \text{ см}$, находящейся на расстоянии $0,5 \text{ м}$ от плоскости. Заряд сферы $q = 150 \text{ нКл}$. Определить напряженность поля в точке, одинаково удаленной от плоскости и центра сферы.
11. Точечные заряды $Q_1 = 20 \text{ мкКл}$ и $Q_2 = -10 \text{ мкКл}$ находятся на расстоянии $d = 5 \text{ см}$ друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной на $r_1 = 3 \text{ см}$ от первого и $r_2 = 4 \text{ см}$ от второго заряда. Определить также силу F , действующую в этой точке на точечный заряд $Q = 1 \text{ мкКл}$.
12. Три одинаковых точечных заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 2 \text{ нКл}$ находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 10 \text{ см}$. Определить модуль и направление силы \vec{F} , действующей на один из зарядов со стороны двух других.
13. Два положительных точечных заряда Q и $9Q$ закреплены на расстоянии $l = 100 \text{ см}$ 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.
14. Два одинаковых заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α . Шарика погружаются в масло. Какова плотность ρ_0 масла, если угол расхождения нитей при погружении шариков в масло остался неизменным? Плотность материала шариков $\rho = 1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, диэлектрическая проницаемость масла $\varepsilon = 2,2$.
15. Четыре одинаковых заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 40 \text{ нКл}$ закреплены в

вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Найти силу F , действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

16. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 8 \cdot 10^{-10}$ Кл. Какой отрицательный заряд Q нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?

17. На расстоянии $d = 20$ см находятся два точечных заряда $Q_1 = -50$ нКл и $Q_2 = 100$ нКл. Определить силу F , действующую на заряд $Q_3 = -10$ нКл, удаленный от обоих зарядов на одинаковое расстояние, равное d .

18. Расстояние d между двумя точечными зарядами $Q_1 = 2$ нКл и $Q_2 = 4$ нКл равно 60 см. Определить точку, в которую нужно поместить третий заряд Q_3 так, чтобы система зарядов находилась в равновесии. Определить размер и знак заряда. Устойчивое или не устойчивое будет равновесие?

19. На тонком кольце равномерно распределен заряд с линейной плотностью заряда $\tau = 0,2$ нКл/см. Радиус кольца $R = 15$ см. На срединном перпендикуляре к плоскости кольца находится точечный заряд $Q = 10$ нКл. Определить силу F , действующую на точечный заряд со стороны заряженного кольца, если он удален от центра кольца на: 1) $a_1 = 20$ см; 2) $a_2 = 10$ м.

20. По тонкой нити, изогнутой по дуге окружности радиусом $R = 10$ см, равномерно распределен заряд $Q = 20$ нКл. Определить напряженность E поля, создаваемого этим зарядом в точке, совпадающей с центром кривизны дуги, если длина нити равна четверти длины окружности.

21. Определить напряженность E поля, создаваемого зарядом, равномерно распределенным по тонкому прямому стержню с линейной плотностью заряда $\tau = 200$ нКл/м, в точке, лежащей на продолжении оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от ближайшего конца.

22. На продолжении оси тонкого прямого стержня, равномерно заряженного с линейной плотностью заряда $\tau = 15$ нКл/см, на расстоянии $a = 40$ см от конца стержня находится точечный заряд $Q = 10$ мкКл. Второй коней стержня уходит в бесконечность. Определить силу взаимодействия стержня и заряда Q .

23. По тонкому кольцу радиусом $R = 10$ см равномерно распределен заряд $Q_1 = 20$ нКл. Какова напряженность E поля в точке, находящейся на оси кольца на расстоянии $a = 20$ см от центра кольца?

24. Два длинных, тонких равномерно заряженных ($\tau = 1$ мкКл/м) стержня расположены перпендикулярно друг другу так, что точка пересечения их осей находится на расстоянии $a = 10$ см и $b = 15$ см от ближайших концов стержней. Найти силу F , действующую на заряд $Q = 10$ нКл, помещенный в точку пересечения осей стержней.

25. Тонкое полукольцо радиусом $R = 20$ см несет равномерно распределенный заряд $Q_1 = 2$ мкКл. Определить силу F , действующую на точечный заряд $Q_2 = 40$ нКл, расположенный в центре кривизны полукольца.

- 26.** Определить напряженность E поля, создаваемого тонким длинным стержнем, равномерно заряженным с линейной плотностью заряда $\tau=20\text{мкКл/м}$ в точке, находящейся на расстоянии $a = 2\text{ см}$ от стержня, вблизи его середины.
- 27.** Параллельно бесконечной плоскости, заряженной с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 4\text{мкКл/м}^2$, расположена бесконечно длинная прямая нить, заряженная с линейной плотностью заряда $\tau = 100\text{нКл/м}$. Определить силу F , действующую со стороны плоскости на отрезок нити длиной $l = 1\text{ м}$.
- 28.** Две одинаковые круглые пластины площадью $S = 400\text{см}^2$ каждая расположены параллельно друг другу. Заряд одной пластины $Q_1 = 400\text{нКл}$, другой $Q_2 = -200\text{нКл}$. Определить силу F взаимного притяжения пластин, если расстояние между ними: а) $r_1 = 3\text{ мм}$; б) $r_2 = 10\text{ м}$.
- 29.** На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром $d = 20\text{ см}$ равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 4\text{мкКл/м}^2$. Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на $a = 15\text{ см}$.
- 30.** С какой силой (на единицу площади) взаимодействуют две бесконечные параллельные плоскости, заряженные с одинаковой поверхностной плотностью заряда $\sigma = 5\text{мкКл/м}^2$.
- 31.** Вдоль силовой линии однородного электрического поля движется протон. В точке поля с потенциалом $\varphi_1 = 300\text{ В}$ протон имел скорость $v_1 = 0,1\text{ Мм/с}$. Определить: 1) потенциал φ_2 точки поля, в которой скорость протона возрастает в 3 раза; 2) работу, которую при этом совершило поле.
- 32.** Электрон, летевший горизонтально со скоростью $v=1,6\text{ Мм/с}$, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью $E=90\text{ В/см}$, направленной вертикально вверх. Какова будет по модулю и направлению скорость электрона через 1 нс ? Какую работу совершило при этом поле?
- 33.** Протон, начальная скорость которого равна 100 км/с , влетел в однородное электрическое поле в направлении линий напряженности. Какой путь должен пройти протон, чтобы его скорость удвоилась? Какую работу совершит при этом поле? Напряженность поля $E=300\text{ В/см}$.
- 34.** Пройдя ускоряющую разность потенциалов $U=600\text{ кВ}$, α -частица, летевшая со скоростью $5,4\text{ Мм/с}$, увеличила свою скорость на $3,9\text{ Мм/с}$. Заряд α -частицы равен $3,2 \cdot 10^{-19}\text{ Кл}$. Определить: 1) работу, совершенную полем при разгоне частицы; 2) удельный заряд α - частицы (отношение заряда к массе), считая массу неизвестной.
- 35.** Пылинка массой $m=1\text{ пг}$, несущая на себе пять избыточных электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов 3 МВ . Найти: 1) изменение ее кинетической энергии; 2) работу сил поля; 3) изменение скорости пылинки. Начальная скорость пылинки 9 м/с .
- 36.** Разность потенциалов между катодом и анодом электронной лампы равна 90 В , а расстояние между ними 24 мм . С каким ускорением движется электрон от катода к аноду? Какова скорость электрона в момент удара об анод? За какое время электрон пролетает расстояние от катода до анода? Какую работу при этом совершит электрическое поле лампы? Поле считать однородным.

37. Какой путь пройдет электрон в однородном электрическом поле напряженностью $E=200$ кВ/м вдоль силовой линии за время $t=1$ нс, если его начальная скорость была равна нулю? Какими скоростью и кинетической энергией будет обладать электрон в конце заданного интервала времени? Какую работу при этом совершит электрическое поле?

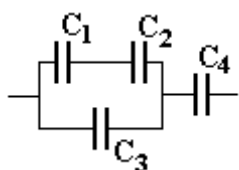
38. Вдоль силовой линии однородного электрического поля движется α -частица. В точке поля с потенциалом $\varphi_1 = 120$ В α -частица имела скорость $v_1 = 50$ км/с. Определить: 1) потенциал φ_2 точки поля, в которой ее скорость возрастет в 2 раза; 2) работу, которую при этом совершило поле.

39. Электрон с начальной скоростью $v_0=3$ Мм/с влетел в однородное электрическое поле напряженностью $E=150$ В/м. Вектор начальной скорости перпендикулярен линиям напряженности электрического поля. Найти: 1) силу F , действующую на электрон; 2) ускорение, приобретенное электроном; 3) скорость электрона через $t=0,1$ мкс; 4) работу, совершенную при этом полем.

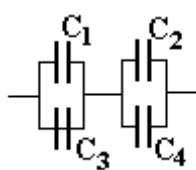
40. Протон, летевший горизонтально со скоростью $v=0,6$ Мм/с, влетел в однородное электрическое поле с напряженностью $E=120$ В/см, направленной вертикально вверх. Какова будет по модулю и направлению скорость протона через 1 мкс? Какую работу совершит поле при таком изменении скорости?

В задачах **41-50**. Четыре конденсатора образуют цепь, показанную на рисунке. Разность потенциалов на концах цепи равна 6 В, емкости конденсаторов C_1, C_2, C_3 , и C_4 равны, соответственно, 1, 2, 3 и 4 мкФ. Определить: 1) общую емкость цепи, 2) разность потенциалов на каждом конденсаторе, 3) заряд на каждом конденсаторе, 4) энергию электрического поля каждого конденсатора и общую энергию системы.

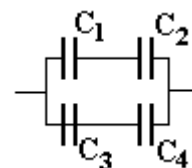
41.



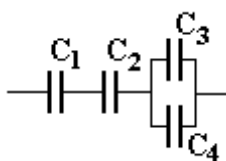
42.



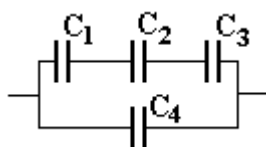
43.



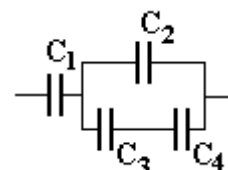
44.



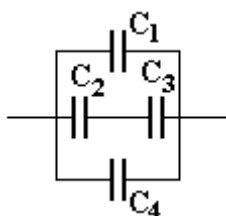
45.



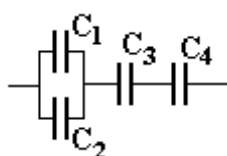
46.



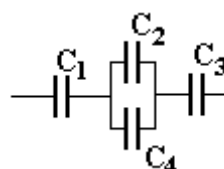
47.



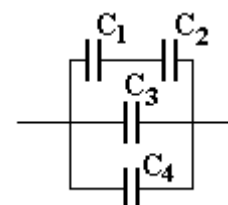
48.



49.



50.



51. Батарея, состоит из трех включенных параллельно одинаковых источников тока с ЭДС $\varepsilon=12,2$ В и внутренним сопротивлением $r=3$ Ом каждый. Соединенная с ней внешняя электрическая цепь имеет сопротивление $R=24$ Ом. Определить: 1) полезную мощность; 2) наибольшую мощность, которую можно получить во внешней цепи.

52. ЭДС источника тока $\varepsilon=2$ В, внутреннее сопротивление $r=1$ Ом. Определить силу тока, если внешняя цепь потребляет мощность $P=0,75$ Вт. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

53. Определить силу тока короткого замыкания $I_{кз}$ для аккумуляторной батареи, если при токе нагрузки $I_1=5$ А она отдает во внешнюю цепь мощность $P_1=9,5$ Вт, а при токе нагрузки в 8 А - $P_2=14,4$ Вт. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

54. Батарея, состоит из трех одинаковых включенных последовательно источников тока с ЭДС $\varepsilon=2,2$ В и внутренним сопротивлением $r=1$ Ом каждый. Соединенная с ней внешняя электрическая цепь имеет сопротивление $R=48$ Ом. Определить: 1) полезную мощность; 2) наибольшую мощность, которую можно получить во внешней цепи.

55. Батарея состоит из пяти последовательно соединенных элементов с ЭДС $\varepsilon=1,4$ В и с внутренним сопротивлением $r=0,3$ Ом каждый. При каком сопротивлении внешней нагрузки полезная мощность равна $P = 8$ Вт? Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

56. Аккумулятор с внутренним сопротивлением $r=0,08$ Ом при токе нагрузки $I_1=4$ А отдает во внешнюю цепь мощность $P_1=8$ Вт. Какую мощность P_2 отдаст он во внешнюю цепь при токе нагрузки $I_2=6$ А? Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

57. Элемент питания замыкают сначала на внешнее сопротивление $R_1 = 2$ Ом, а затем на внешнее сопротивление $R_2 = 0,5$ Ом. Найти ЭДС элемента и его внутреннее сопротивление, если известно, что в каждом из этих случаев, мощность, выделяемая во внешней цепи, одинакова и равна 2,54 Вт. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

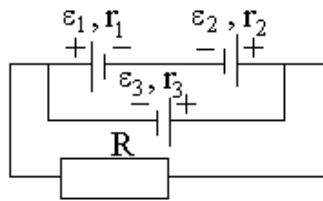
58. Два источника тока с ЭДС 24 В и с внутренними сопротивлениями 2 Ом и 3 Ом соединены параллельно. При каком сопротивлении внешней нагрузки полезная мощность равна 64 Вт? Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

59. Лампочка и реостат, включенные последовательно, присоединены к источнику тока с внутренним сопротивлением 2 Ом. Напряжение на зажимах лампочки равно 40 В, сопротивление реостата равно 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность 120 Вт. Найти силу тока в цепи. Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

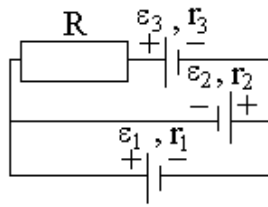
60. Батарея состоит из трех параллельно соединенных источников тока с ЭДС $\varepsilon=12$ В и с внутренним сопротивлением $r=2$ Ом каждый. При каком сопротивлении внешней нагрузки полезная мощность равна 32 Вт? Какую наибольшую мощность можно получить во внешней цепи?

В задачах **61-70.** С использованием правил Кирхгофа, найти силы токов на всех участках цепи и разность потенциалов между узлами. В задаче известно: $\varepsilon_1=2,5$ В, $\varepsilon_2=2,2$ В, $\varepsilon_3=3,0$ В, $r_1=r_2=r_3=0,2$ Ом, $R=4,7$ Ом.

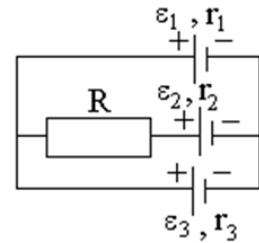
61.



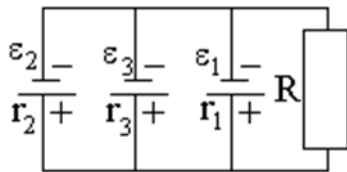
62.



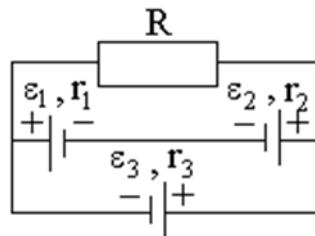
63.



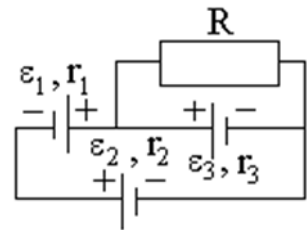
64.



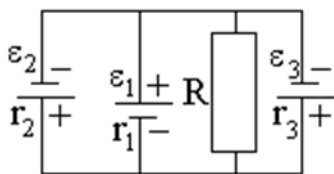
65.



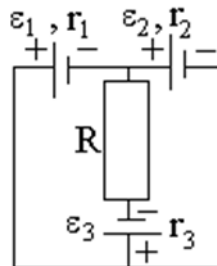
66.



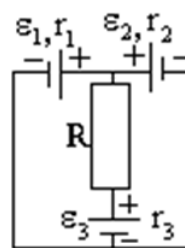
67.



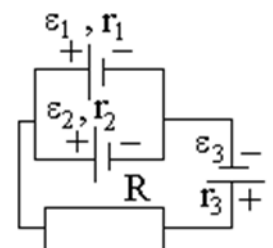
68.



69.



70.



71. Электрическое поле образовано бесконечно длинной заряженной нитью, линейная плотность заряда которой $\tau = 20 \text{ пКл/м}$. Определить разность потенциалов U двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии $r_1 = 8 \text{ см}$ и $r_2 = 12 \text{ см}$.

72. Тонкая квадратная рамка равномерно заряжена с линейной плотностью заряда $\tau = 200 \text{ пКл/м}$. Определить потенциал φ поля в точке пересечения диагоналей.

73. Пылинка массой $m = 200 \text{ мкг}$, несущая на себе заряд $Q = 40 \text{ нКл}$, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $U = 200 \text{ В}$ пылинка имела скорость $v_0 = 10 \text{ м/с}$. Определить скорость пылинки до того, как она влетела в поле.

74. Электрон, обладавший кинетической энергией $T = 10 \text{ эВ}$, влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий поля. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов $U = 8 \text{ В}$?

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

76. Электрон с энергией $T = 400 \text{ эВ}$ (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом $R = 10 \text{ см}$. Определить минимальное расстояние a , на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если заряд ее $Q = -10 \text{ нКл}$.

77. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до

другой, приобрел скорость $v=10^5$ м/с. Расстояние между пластинами $d=8$ мм. Найти: 1) разность потенциалов U между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда σ на пластинах.

78. Пылинка массой $m=5$ нг, несущая на себе $N=10$ электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $U=1$ мВ. Какова кинетическая энергия T пылинки? Какую скорость v приобрела пылинка?

79. Ион атома лития Li^+ прошел разность потенциалов $U_1=400$ В, ион атома натрия Na^+ - разность потенциалов $U_2=300$ В. Найти отношение скоростей этих ионов.

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

81. Расстояние между пластинами плоского конденсатора $d=2$ мм, разность потенциалов $U=600$ В. Заряд каждой пластины $Q=40$ нКл. Определить энергию W поля конденсатора и силу F взаимного притяжения пластин.

82. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора емкостью $C=100$ пФ каждый соединены в батарею последовательно. Определить, насколько изменится емкость C батареи, если пространство между пластинами одного из конденсаторов заполнить парафином.

83. Два конденсатора емкостью $C_1=5$ мкФ и $C_2=8$ мкФ соединены последовательно и присоединены к батарее с э. д. с. $\mathcal{E}=80$ В. Определить заряды Q_1 и Q_2 конденсаторов и разности потенциалов U_1 и U_2 между их обкладками.

84. Плоский конденсатор состоит из двух круглых пластин радиусом $R=10$ см каждая. Расстояние между пластинами $d=2$ мм. Конденсатор присоединен к источнику напряжения $U=80$ В. Определить заряд Q и напряженность E поля конденсатора в двух случаях: а) диэлектрик – воздух; б) диэлектрик – стекло.

85. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора соединены последовательно в батарею, которая подключена к источнику тока с э. д. с. $\mathcal{E}=12$ В. Определить, насколько изменится напряжение на одном из конденсаторов, если другой погрузить в трансформаторное масло.

86. Два металлических шарика радиусами $R_1=5$ см и $R_2=10$ см имеют заряды $Q_1=40$ нКл и $Q_2=-20$ нКл соответственно. Найти энергию W , которая выделится при разряде, если шары соединить проводником.

87. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика: стекла толщиной $d_1=0,2$ см и слоем парафина толщиной $d_2=0,3$ см. Разность потенциалов между обкладками $U=300$ В. Определить напряженность E поля и падение потенциала в каждом из слоев.

88. Плоский конденсатор с площадью пластин $S=200$ см² каждая заряжен до разности потенциалов $U=2$ кВ. Расстояние между пластинами $d=2$ см. Диэлектрик – стекло. Определить энергию W поля конденсатора и плотность

ω энергии поля.

89. Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением $r = 4 \text{ кОм}$. Амперметр показывает силу тока $I = 0,3 \text{ А}$, вольтметр – напряжение $U = 120 \text{ В}$. Определить сопротивление R катушки. Определить относительную погрешность ε , которая будет допущена при измерении сопротивления, если пренебречь силой тока, текущего через вольтметр.

90. Э. д. с. батареи $\varepsilon = 80 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $R_i = 5 \text{ Ом}$. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100 \text{ Вт}$. Определить силу тока I в цепи, напряжение U , под которым находится внешняя цепь, и ее сопротивление R .

91. Проволочный виток радиусом $R = 25 \text{ см}$ расположен в плоскости магнитного меридиана. В центре установлена небольшая магнитная стрелка, способная вращаться вокруг вертикальной оси. На какой угол α отклонится стрелка, если по витку пустить ток силой $I = 15 \text{ А}$? Горизонтальную составляющую индукции земного магнитного поля принять равной $B = 20 \text{ мкТл}$.

92. Магнитная стрелка помещена в центре кругового витка, плоскость которого расположена вертикально и составляет угол $\varphi = 30^\circ$ с плоскостью магнитного меридиана. Радиус витка $R = 20 \text{ см}$. Определить угол α , на который повернется магнитная стрелка, если по проводнику пойдет ток силой $I = 25 \text{ А}$. Горизонтальную составляющую индукции земного магнитного поля принять равной $B = 20 \text{ мкТл}$.

93. По двум длинным, параллельным проводам, расстояние между которыми $d = 5 \text{ см}$, текут одинаковые токи $I = 10 \text{ А}$. Определить индукцию \vec{B} и напряженность \vec{H} магнитного поля в точке, удаленной от каждого провода на расстояние $r = 5 \text{ см}$, если токи текут: а) в одинаковом, б) в противоположных направлениях.

94. 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 \vec{B} магнитного поля в точке, лежащей на середине общего перпендикуляра к проводникам.

95. Ток силой $I = 50 \text{ А}$ течет по проводнику, согнутому под прямым углом. Найти напряженность \vec{H} магнитного поля в точке, лежащей на биссектрисе этого угла и отстоящей от вершины угла на расстоянии $b = 20 \text{ см}$. Считать, что оба конца проводника находятся очень далеко от вершины угла.

96. По проводнику, изогнутому в виде окружности, течет ток. Напряженность магнитного поля в центре окружности $H_1 = 50 \text{ А/м}$. Не изменяя силы тока в проводнике, ему придали форму квадрата. Определить напряженность H_2 магнитного поля в точке пересечения диагоналей этого квадрата.

97. По контуру в виде равностороннего треугольника течет ток силой $I = 50 \text{ А}$. Сторона треугольника $a = 20 \text{ см}$. Определить магнитную индукцию \vec{B} в точке пересечения, высот.

98. По проводнику согнутому в виде прямоугольника со сторонами $a = 8 \text{ см}$ и $b = 12 \text{ см}$, течет ток силой $I = 50 \text{ А}$. Определить напряженность \vec{H} и индукцию

\vec{B} магнитного; поля в точке пересечения диагоналей прямоугольника.

99. По двум параллельным проводам длиной $l=3$ м каждый текут одинаковые токи силой $I=500$ А. Расстояние между проводниками $d=10$ см. Определить силу \vec{F} взаимодействия проводников.

100. По трем параллельным прямым проводам, находящимся на одинаковом расстоянии $d=20$ см друг от друга, текут токи одинаковой силы $I=400$ А. В двух проводах направления токов совпадают. Вычислить для каждого из проводов отношение силы, действующей на него, к его длине.

101. Два бесконечно длинных прямолинейных проводника с токами 6 А и 8 А скрещены перпендикулярно друг другу. Определить индукцию и напряженность магнитного поля на середине кратчайшего расстояния между проводниками, равного 20 см.

102. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам, расстояние между которыми равно 15 см, в одном направлении текут токи 4 А и 6 А. Определить расстояние от проводника с меньшей силой тока до геометрического места точек, в которых индукция магнитного поля равна нулю.

103. По квадратной рамке течет ток силой $I=2$ А. Напряженность магнитного поля в центре рамки равна $H=45$ А/м. Определить периметр рамки.

104. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам текут токи 5 и 10 А в одном направлении. Геометрическое место точек, в котором индукция магнитного поля равна нулю, находится на расстоянии 10 см от проводника с меньшей силой тока. Определить расстояние между проводниками.

105. По кольцевому проводнику радиусом 10 см течет ток $I_1=4$ А. Параллельно плоскости кольцевого проводника на расстоянии 2 см от его центра проходит бесконечно длинный прямолинейный проводник, по которому течет ток $I_2=2$ А. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в центре кольца. Рассмотреть все возможные случаи.

106. Два круговых витка с током лежат в одной плоскости и имеют общий центр. Радиусы витков равны 12 и 8 см. Напряженность магнитного поля в центре витков равна 50 А/м, если токи текут в одном направлении, и нулю, если в противоположных. Определить силы токов, текущих по круговым виткам.

107. Бесконечно длинный прямолинейный проводник с током $I_1=3$ А расположен на расстоянии 20 см от центра витка радиусом 10 см с током $I_2=1$ А. Определить индукцию магнитного поля в центре витка для случаев, когда проводник: а) расположен перпендикулярно плоскости витка; б) находится в плоскости витка.

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

109. По двум бесконечно длинным прямолинейным параллельным проводникам, расстояние между которыми 25 см, в противоположных направлениях 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.

- 110.** По квадратной рамке со стороной $a=0,4$ м течет ток, который создает в центре рамки магнитное поле напряженностью $H=45$ А/м. Определить силу тока в рамке.
- 111.** Электрон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B=25$ мТл. Скорость электрона равна 350 м/с и составляет с линиями индукции угол 30° . Определить радиус и шаг винтовой линии, по которой будет двигаться электрон.
- 112.** Протон, имеющий скорость $v = 5$ км/с, влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B = 0,01$ Тл. Вектор скорости протона направлен под углом 60° к линиям магнитной индукции. Определить силу, действующую на протон и путь, пройденный частицей по траектории за 10 мс.
- 113.** Протон влетает в однородное магнитное поле с индукцией $0,1$ Тл под углом 30° к линиям индукции. Определить сколько оборотов сделает протон за 2 минуты, если его скорость равна 10 км/с. Каков радиус траектории протона?
- 114.** Заряженная частица движется в магнитном поле с индукцией $B=0,02$ Тл по окружности со скоростью 200 м/с. Радиус окружности $R = 0,1$ м. Найти заряд частицы, если ее кинетическая энергия равна $3,2 \cdot 10^{-20}$ Дж.
- 115.** Протон, пройдя ускоряющую разность потенциалов 10^4 В, вылетел из протонной пушки и влетел в однородное магнитное поле с индукцией $0,1$ Тл перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить радиус его траектории и период вращения.
- 116.** Электрон движется в магнитном поле с индукцией $B=4$ мТл по окружности радиусом $R=0,8$ см. Какова кинетическая энергия электрона? За какое время электрон проходит четверть окружности?
- 117.** Электрон, ускоренный разностью потенциалов $1,5$ кВ, влетел в однородное магнитное поле под углом 15° к вектору индукции \vec{B} , модуль которого равен 14 мТл. Найти шаг винтовой траектории электрона.
- 118.** Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B=10$ мТл по винтовой линии, радиус которой $R=1,5$ см и шаг $h=10$ см. Определить период обращения электрона и его скорость.
- 119.** Заряженная частица с кинетической энергией 2 кэВ движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом 4 мм. Определить силу, действующую на частицу со стороны поля.
- 120.** Альфа- частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов $U=2$ кВ, влетает в однородное магнитное поле с индукцией $B=3$ мТл перпендикулярно линиям индукции. Найти силу, действующую на частицу, и радиус окружности, по которой она станет двигаться.
- 121.** Диск радиусом $R=5$ см несет равномерно распределенный по поверхности заряд $Q=0,1$ мкКл. Диск равномерно вращается относительно оси, проходящей через его центр и перпендикулярной плоскости диска. Частота вращения $n=50$ с⁻¹. Определить: 1) магнитный момент p_m кругового тока, создаваемого диском; 2) отношение магнитного момента к моменту импульса p_m/L , если масса диска $m=100$ г.
- 122.** По тонкому стержню длиной $l=40$ см равномерно распределен заряд $Q=500$ нКл. Стержень приведен во вращение с постоянной угловой скоростью $\omega = 20$ рад/с относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через его середину. Определить: 1) магнитный момент p_m ,

обусловленный вращением заряженного стержня; 2) отношение магнитного момента к моменту импульса p_m/L , если стержень имеет массу $m=10$ г.

123. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите некоторого радиуса. Найти отношение магнитного момента эквивалентного кругового тока к моменту импульса орбитального движения электрона p_m/L . Заряд электрона и его массу считать известными.

124. Электрон в невозбужденном атоме водорода движется вокруг ядра по окружности радиусом $R=0,53 \cdot 10^{-8}$ см. Вычислить магнитный момент p_m эквивалентного кругового тока и механический момент M , действующий на круговой ток, если атом помещен в магнитное поле, с индукцией $B=0,4$ Тл, направленной параллельно плоскости орбиты электрона.

125. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле с индукцией $B=0,2$ Тл под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению линий индукции. Определить силу Лоренца, если скорость частицы $v=10,5$ м/с.

126. Частица, несущая один элементарный заряд, влетела в однородное магнитное поле, с индукцией $B=0,01$ Тл. Определить момент импульса L , которым обладала частица при движении в магнитном поле, если радиус траектории частицы равен $R=0,5$ мм.

127. Электрон движется в однородном магнитном поле перпендикулярно линиям индукции. Определить силу F , действующую на электрон со стороны поля, если индукция поля $B=0,2$ Тл, а радиус кривизны траектории $R=0,2$ см.

128. Заряженная частица с кинетической энергией $T=2$ кэВ движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом $R=4$ мм. Определить силу Лоренца, действующую на частицу со стороны поля.

129. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле с напряженностью $H=5 \cdot 10^3$ А/м. Определить частоту обращения n электрона.

130. Электрон движется в магнитном поле с индукцией $B=4$ мТл по окружности радиусом $R=0,8$ см. Какова кинетическая энергия T электрона?

131. Круговой проводящий контур радиусом $r=5$ см и током $I=1$ А находится в магнитном поле, причем плоскость контура перпендикулярна направлению поля. Напряженность поля равна 10 кА/м. Определить: 1) работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть контур на 90° вокруг оси, совпадающей с диаметром контура и перпендикулярной к направлению поля; 2) среднюю ЭДС, индуцируемую в контуре, если поворот будет совершен за 6 секунд?

132. Круговой контур помещен в однородное магнитное поле так, что плоскость контура расположена под углом 30° к силовым линиям поля. Напряженность магнитного поля $H=2 \cdot 10^4$ А/м. По контуру течет ток силой 2А. Радиус контура 2 см. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть контур на 90° вокруг оси, совпадающей с диаметром контура и перпендикулярной к направлению поля? Какая средняя ЭДС индуцируется в контуре, если поворот будет совершен за 12 секунд?

133. В однородном магнитном поле с индукцией $B=0,01$ Тл находится прямой провод длиной $L=8$ см, расположенный перпендикулярно линиям индукции. По проводу течет ток $I=2$ А. Под действием сил поля за две секунды провод переместился на расстояние $S=5$ см. Найти 1) работу сил поля; 2) разность

потенциалов, индуцированную на концах провода.

134. Плоский контур, площадь которого $S=300 \text{ см}^2$, находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,01 \text{ Тл}$. Плоскость контура перпендикулярна линиям индукции. В контуре поддерживается неизменный ток $I = 10 \text{ А}$. Определить работу A внешних сил по перемещению контура с током в область пространства, в которой магнитное поле отсутствует. Какая средняя ЭДС индуцируется в контуре, если это перемещение будет совершено за 2 секунды?

135. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной длиной $a=10 \text{ см}$, течет ток $I=20 \text{ А}$, сила которого поддерживается неизменной. Плоскость квадрата составляет угол $\alpha=20^\circ$ с линиями индукции однородного магнитного поля ($B=0,1 \text{ Тл}$). Вычислить работу A , которую необходимо совершить для того, чтобы удалить провод за пределы поля. Какая средняя ЭДС индуцируется в проводе, если перемещение будет совершено за 2с?

136. По кольцу радиусом $R = 10 \text{ см}$, сделанному из тонкого гибкого провода, течет ток $I=100 \text{ А}$. Перпендикулярно плоскости кольца возбуждено магнитное поле с индукцией $B=0,1 \text{ Тл}$, по направлению совпадающей с индукцией B_1 собственного магнитного поля кольца. Определить работу A внешних сил, которые, действуя на провод, деформировали его и придали ему форму квадрата. Сила тока при этом поддерживалась неизменной. Работой против упругих сил пренебречь. Определить среднюю ЭДС, возникшую при этом в замкнутом контуре, если изменение конфигурации произошло за 5 секунд?

137. Виток, по которому течет ток $I=20 \text{ А}$, свободно установился в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,016 \text{ Тл}$. Диаметр витка равен 10 см. Определить работу A , которую нужно совершить, чтобы повернуть виток 1) на угол $\pi/2$ относительно оси, совпадающей с диаметром, 2) на угол 2π относительно этой же оси. Определить ЭДС в первом случае, если поворот был совершен за 3 секунды.

138. Прямой провод длиной $L=20 \text{ см}$ с током $I=5 \text{ А}$, находящийся в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,1 \text{ Тл}$, расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции. Под действием сил поля проводник переместился на 2 см за 4 секунды. Определить: 1) работу сил поля; 2) разность потенциалов, возникшую на концах провода.

139. Квадратный проводящий контур со стороной $l=20 \text{ см}$ и током $I=10 \text{ А}$ свободно подвешен в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,2 \text{ Тл}$. Определить: 1) работу, которую необходимо совершить, чтобы повернуть контур на 180° вокруг оси, перпендикулярной направлению магнитного поля; 2) ЭДС, индуцированную в контуре, если поворот был совершен за 4 секунды.

140. В однородном магнитном поле с магнитной индукцией $B=0,2 \text{ Тл}$ находится квадратный проводящий контур со стороной $a=20 \text{ см}$ и током $I=10 \text{ А}$. Плоскость квадрата составляет с направлением поля угол 30° . Определить работу удаления провода за пределы поля и ЭДС, возникшую в нем, если удаление было совершено за 7 секунд.

141. Соленоид содержит $N=1000$ витков. Сила тока I в обмотке равна 1 А, магнитный поток Φ через поперечное сечение соленоида равен 0,1 мВб. Вычислить энергию магнитного поля внутри соленоида.

- 142.** Сколько витков имеет катушка, индуктивность которой $L=1$ мГн, если при токе $I=1$ А магнитный поток сквозь сечение катушки $\Phi=2$ мкВб ?
- 143.** Обмотка электромагнита имеет сопротивление $R=15$ Ом и индуктивность $L=0,3$ Гн. Определить время, за которое в обмотке выделится количество теплоты, равное энергии магнитного поля в сердечнике, если обмотка магнита находится под постоянным напряжением.
- 144.** Сила тока I в обмотке соленоида, содержащего $N=1500$ витков, равна 5 А. Магнитный поток Φ через поперечное сечение соленоида составляет 200 мкВб. Определить энергию магнитного поля в соленоиде.
- 145.** Катушка длиной 20 см и диаметром $D=3$ см имеет 400 витков. По катушке течет ток $I=2$ А. Найти индуктивность L катушки и магнитный поток Φ , пронизывающий ее поперечное сечение.
- 146.** Сколько витков проволоки диаметром 0,6 мм имеет однослойная обмотка катушки, индуктивность которой $L=1$ мГн и диаметр $D=4$ см? Витки плотно прилегают друг к другу.
- 147.** Соленоид индуктивностью $L=4$ мГн содержит $N=600$ витков. Площадь поперечного сечения соленоида $S=20$ см². Определить магнитную индукцию поля внутри соленоида, если сила тока, протекающего по его обмотке, равна 6 А.
- 148.** Определить, сколько витков проволоки, вплотную прилегающих друг к другу, диаметром 0,5 мм с изоляцией ничтожной толщины надо намотать на картонный цилиндр диаметром 1,5 см, чтобы получить однослойную катушку индуктивностью $L=100$ мкГн?
- 149.** Катушка, намотанная на немагнитный цилиндрический каркас, имеет $N_1=750$ витков и индуктивность $L_1=25$ мГн. Чтобы увеличить индуктивность катушки до $L_2=36$ мГн, обмотку с катушки сняли и заменили обмоткой из более тонкой проволоки с таким расчетом, чтобы длина катушки осталась прежней. Определить число N_2 витков катушки после перемотки.
- 150.** Соленоид длиной 50 см и площадью поперечного сечения $S=2$ см² имеет индуктивность $L=0,2$ мкГн. При каком токе I объемная плотность энергии магнитного поля внутри соленоида $w_0=1$ мДж/м³?
- 151.** На пути одного из интерферирующих лучей помещается стеклянная пластинка толщиной 12 мкм. Определить, на сколько полос сместится интерференционная картина, если показатель преломления стекла $n=1,5$; длина волны света $\lambda=750$ нм и свет падает на пластинку нормально.
- 152.** Какой должна быть толщина пластинки, изготовленной из стекла с показателем преломления $n=1,6$, если при введении пластинки на пути одного из двух интерферирующих лучей интерференционная картина смещается на четыре полосы? Длина волны падающего света $\lambda=550$ нм.
- 153.** Во сколько раз в опыте Юнга (интерференция от двух точечных источников) нужно изменить расстояние до экрана, чтобы 5-я светлая полоса новой интерференционной картины оказалась на том же расстоянии от нулевой, что и 3-я светлая полоса в прежней картине.
- 154.** В опыте Юнга (интерференция от двух точечных источников) вначале использовали свет с длиной волны $\lambda_1=600$ нм, а затем с λ_2 . Какова длина волны во втором случае, если 7-я светлая полоса в первом случае совпадает с 10-й темной во

втором?

155. На мыльную пленку ($n=1,33$), находящуюся в воздухе, падает под углом $\alpha = 45^\circ$ пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки свет с длиной волны $\lambda=0,55$ мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции? Наблюдение ведется в отраженном свете.

156. На мыльную пленку ($n=1,33$), находящуюся в воздухе, падает под углом $\alpha = 30^\circ$ пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки свет с длиной волны $\lambda=0,5$ мкм окажется максимально ослабленным в результате интерференции? Наблюдение ведется в отраженном свете.

157. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если длину волны излучения изменили с 500 нм до 650 нм ?

158. На мыльную пленку ($n=1,33$), находящуюся в воздухе, падает под углом $\alpha = 60^\circ$ пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине пленки свет с длиной волны $\lambda=0,55$ мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции? Наблюдение ведется в проходящем свете.

159. Расстояние между двумя когерентными источниками света ($\lambda=0,5$ мкм) равно 0,1 мм. Расстояние между интерференционными максимумами в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определить расстояние от источников до экрана.

160. В воде интерферируют когерентные световые волны с частотой $5 \cdot 10^{14}$ Гц. Усиление или ослабление света будет наблюдаться в точке наложения, если геометрическая разность хода лучей в ней равна 1,8 мкм ? Показатель преломления воды $n=1,33$.

161. Дифракция наблюдается на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света ($\lambda=0,5$ мкм). Посередине между источником света и экраном находится диафрагма с круглым отверстием. Определить радиус отверстия, при котором центр дифракционных колец на экране является наиболее темным.

162. Сферическая волна, распространяющаяся из точечного монохроматического источника света ($\lambda=0,6$ мкм), встречает на своем пути экран с круглым отверстием радиусом 0,4 мм. Расстояние от источника до экрана равно 1 м. Определить наибольшее расстояние от отверстия до точки экрана, лежащей на линии, соединяющей источник с центром отверстия, где наблюдается максимум освещенности.

163. Плоская световая волна ($\lambda=0,7$ мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием радиусом 1,4 мм. Определить расстояния от диафрагмы до двух наиболее удаленных от нее точек, в которых наблюдаются минимумы интенсивности.

164. На щель шириной 0,1 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda=0,5$ мкм. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном параллельно щели. Определить расстояние от щели до экрана, если ширина центрального дифракционного максимума равна 1 см.

165. На щель шириной 2 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света ($\lambda=589$ нм). Под какими углами будет наблюдаться дифракционные минимумы света?

166. На щель шириной 0,1 мм падает нормально монохроматический свет $\lambda=0,5$ мкм. Что будет наблюдаться на экране (максимум или минимум интенсивности), если угол дифракции равен: 1) $17'$; 2) $43'$.

- 167.** На дифракционную решетку, содержащую 400 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,6$ мкм). Найти общее число дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. Определить угол дифракции, соответствующий последнему максимуму.
- 168.** На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Натриевая линия ($\lambda_1 = 589$ нм) наблюдается в спектре первого порядка при угле дифракции $\varphi_1 = 17^\circ 8'$. Некоторая линия имеет в спектре второго порядка угол дифракции $\varphi_2 = 24^\circ 12'$. Найти длину волны λ_2 этой линии и число штрихов на единицу длины решетки.
- 169.** Постоянная дифракционной решетки $d = 2$ мкм. Какую разность длин волн $\Delta\lambda$ может разрешить эта решетка в области желтых лучей ($\lambda = 600$ нм) в спектре второго порядка? Длина решетки - 2,5 см.
- 170.** Дифракционная картина получена с помощью дифракционной решетки длиной 1,5 см и периодом $d = 5$ мкм. Определить, в спектре какого наименьшего порядка этой картины получатся отдельные изображения двух спектральных линий с разностью длин волн $\Delta\lambda = 0,1$ нм, если линии лежат в крайней красной части спектра ($\lambda \approx 760$ нм).
- 171.** Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора составляет 30° . Определить изменение интенсивности прошедшего через них света, если угол между главными плоскостями стал равен 45° .
- 172.** Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, уменьшилась в 8 раз. Пренебрегая поглощением света, определить угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.
- 173.** Определить, во сколько раз ослабится интенсивность естественного света, прошедшего через два поляризатора, расположенные так, что угол между их главными плоскостями равен 60° .
- 174.** Определить, во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света, прошедшего через два поляризатора, главные плоскости которых образуют угол 45° .
- 175.** Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, угол между главными плоскостями которых равен α . Определить угол α , если интенсивность света, вышедшего из анализатора, равна 12% интенсивности света, падающего на поляризатор.
- 176.** Во сколько раз изменится интенсивность света, проходящего через два поляризатора, если увеличить угол между их главными плоскостями с 30° до 60° . Потерями света пренебречь.
- 177.** Анализатор в 2 раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Потерями интенсивности света в анализаторе пренебречь.
- 178.** Угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?
- 179.** Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, поставленные так, что угол между их главными плоскостями равен α . При этом интенсивность луча, вышедшего из анализатора, равна 9% интенсивности

естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол α .

180. Естественный свет падает на систему из трех последовательно расположенных одинаковых поляризаторов, причем главная плоскость среднего поляризатора составляет угол 60° с главными плоскостями двух других. Во сколько раз уменьшится интенсивность света после прохождения этой системы?

181. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если рассеяние фотона происходит на угол $\theta = \pi/2$? Энергия фотона до рассеяния $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ.

182. Определить максимальное изменение длины волны ($\Delta\lambda_{\max}$) при комптоновском рассеянии света на свободных электронах и свободных протонах.

183. Фотон с длиной волны $\lambda_1 = 15$ пм рассеялся на свободном электроне. Длина волны рассеянного фотона $\lambda_2 = 16$ пм. Определить угол θ рассеяния.

184. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0,51$ МэВ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол $\theta = 180^\circ$. Определить кинетическую энергию T электрона отдачи.

185. В результате эффекта Комптона фотон с энергией $\varepsilon_1 = 1,02$ МэВ рассеян на свободных электронах на угол $\theta = 150^\circ$. Определить энергию ε_2 рассеянного фотона.

186. Определить угол θ , на который был рассеян γ -квант с энергией $\varepsilon_1 = 1,53$ МэВ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи $T = 0,51$ МэВ.

187. Возбужденный атом водорода поглощает квант излучения с длиной волны $\lambda = 102,6$ нм. Вычислить, пользуясь теорией Бора, радиус r электронной орбиты возбужденного атома водорода.

187. Вычислить по теории Бора радиус r_2 , второй стационарной орбиты и скорость v_2 электрона на этой орбите для атома водорода.

188. Вычислить по теории Бора период T вращения электрона в атоме водорода, находящегося в возбужденном состоянии, определяемом главным квантовым числом $n = 2$.

189. Определить максимальную энергию ε_{\max} фотона серии Бальмера в спектре излучения атомарного водорода.

190. Определить первый потенциал φ_1 возбуждения и энергию ионизации E_i атома водорода, находящегося в основном состоянии.

191. Определить энергию ε фотона, испускаемого атомом водорода при переходе электрона с третьей орбиты на вторую.

192. Найти наибольшую λ_{\max} и наименьшую λ_{\min} длины волн в ультрафиолетовой серии водорода (серия Лаймана).

193. В однозарядном ионе гелия электрон перешел с третьего энергетического уровня на первый. Определить длину волны λ излучения, испущенного ионом гелия.

194. Электрон в атоме водорода находится на третьем энергетическом уровне. Определить кинетическую T , потенциальную P и полную E энергию электрона. Ответ выразить в электрон-вольтах.

195. Фотон выбивает из атома водорода, находящегося в основном состоянии, электрон с кинетической энергией $T = 10$ эВ. Определить энергию ε фотона.

- 196.** Определить длину волны λ де Бройля для частицы массой $m=1$ г, движущейся со скоростью $v=10$ м/с. Нужно ли учитывать в этом случае волновые свойства частицы?
- 197.** Вычислить длину волны λ де Бройля для электрона, обладающего кинетической энергией $T=13,6$ эВ (энергия ионизации атома водорода). Сравнить полученное значение λ с диаметром d атома водорода (найти отношение λ/d). Нужно ли учитывать волновые свойства электрона при изучении движения электрона в атоме водорода? Диаметр атома водорода принять равным удвоенному значению боровского радиуса.
- 198.** При анализе рассеяния α -частиц на ядрах (опыты Резерфорда) прицельные расстояния принимались порядка $0,1$ нм. Волновые свойства α -частиц ($E=7,7$ МэВ) при этом не учитывались. Допустимо ли это?
- 199.** Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти протон, чтобы длина волны λ де Бройля была равна: 1) 1 нм; 2) 1 пм?
- 200.** Вычислить длину волны λ де Бройля протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U , равную: 1) 1 МВ; 2) 1 ГВ.

Приложения

Таблица 1

Основные физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²)
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Молярная газовая постоянная	R	8,31 Дж/(моль·К)
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	V_{o_m}	$22,4 \cdot 10^{-3}$ м ³ /моль
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$ м/с
Постоянная Стефана - Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² ·К ⁴)
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,90 \cdot 10^{-3}$ м·К
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
	\hbar	$1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Ридберга	R	$1,10 \cdot 10^7$ м ⁻¹
Радиус Бора	a_0	$0,529 \cdot 10^{-10}$ м
Комптоновская длина волны электрона	Λ	$2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23}$ А·м ²
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж (13,6эВ)
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,660 \cdot 10^{-27}$ кг
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

Таблица 2

Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение	Наименование	Значение
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6$ м	Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11}$ м
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24}$ кг		
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8$ м		
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30}$ кг	Расстояние от	$3,84 \cdot 10^8$ м

Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м	центра Земли до центра Луны	
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг		

Таблица 3

Плотность твердых тел

Твердое тело	Плотность кг/м ³	Твердое тело	Плотность кг/м ³	Твердое тело	Плотность кг/м ³
Алюминий	$2,70 \cdot 10^3$	Железо	$7,88 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Барий	$3,50 \cdot 10^3$	Литий	$0,53 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$	Медь	$8,93 \cdot 10^3$	Цезий	$1,90 \cdot 10^3$
Висмут	$9,80 \cdot 10^3$	Никель	$8,90 \cdot 10^3$	Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

Таблица 4

Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³	Жидкость	Плотность, кг/м ³
Вода (при 4 °С)	$1,00 \cdot 10^3$	Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$	Спирт	$0,80 \cdot 10^3$
Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$		

Таблица 5

Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/м ³	Газ	Плотность, кг/м ³
Водород	0,09	Гелий	0,18
Воздух	1,29	Кислород	1,43

Таблица 6

Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей

Жидкость	Коэффициент, мН/м	Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	72	Ртуть	500
Мыльная вода	40	Спирт	22

Таблица 7

Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, м	Газ	Диаметр, м
Азот	$3,0 \cdot 10^{-10}$	Гелий	$1,9 \cdot 10^{-10}$
Водород	$2,3 \cdot 10^{-10}$	Кислород	$2,7 \cdot 10^{-10}$

Таблица 8

Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Вода	81	Парафин	2,0
Масло трансформаторное	2,2	стекло	7,0

Таблица 9

Удельное сопротивление металлов

Металл	Удельное сопротивление	Металл	Удельное сопротивление
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$	Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$

Таблица 10

Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Вода	1,33	Стекло	1,50

Таблица 11

Работа выхода электронов

Металл	A , Дж	A , эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

Таблица 12

Периоды полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада	Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	${}_{89}^{225}Ac$	10 суток	Йод	${}_{53}^{131}I$	8 суток
Кобальт	${}_{27}^{60}Co$	5,3 года	Стронций	${}_{38}^{90}Sr$	27 лет
Магний	${}_{12}^{27}Mg$	10 минут	Фосфор	${}_{15}^{32}P$	14,3 суток
Радий	${}_{86}^{226}Ra$	1620 лет	Церий	${}_{58}^{144}Ce$	285 суток
Радон	${}_{86}^{222}Rn$	3,8 суток			

Содержание

Введение.....	1
Указания к выполнению контрольной работы.....	2
Указания к решению задач.....	4
Литература	6
Раздел III Электростатика. Постоянный ток	6
Примеры решения задач	11
Раздел IV Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны.....	17
Примеры решения задач	21
Раздел V Оптика	24
Примеры решения задач	27
Раздел VI Физика атомов и атомного ядра. Элементарные частицы. Основы квантовой механики.....	29
Примеры решения задач	32
Таблицы вариантов к контрольной работе №2 для студентов 2-го курса направления подготовки «Землеустройство и кадастры»	35
Приложения	53

Бондаренко Юлия Дмитриевна

Физика. Часть 2.: методические указания для выполнения контрольной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю) для обучающихся заочной формы обучения по направлению подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» [Электронный ресурс]: / Ю.Д. Бондаренко; ФГБОУ ВО ПГСХА.- Электрон. текст. дан. – Уссурийск: ПГСХА, 2021. – 58 с. - Режим доступа: [www. de.primacad.ru](http://www.de.primacad.ru).

ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ

ФГБОУ ВО Приморская ГСХА

Адрес: 692510, г. Уссурийск, пр-т Блюхера, 44