

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

Кафедра физики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

по дисциплине

«ФИЗИКА»

Раздел

«Электростатика. Постоянный ток»

Курс 2

Для направлений: 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология
05.03.06 – Экология и природопользование

Заочная форма обучения



Санкт-Петербург, 2018

УДК 539.1 + 536

Утверждено Редакционно-издательским советом РГГМУ

Методические указания и контрольная работа № 3 по дисциплине «Физика». Раздел «Электростатика. Постоянный ток». – СПб.: Изд. РГГМУ, 2018. – 45 с.

Составители: Т.Ю. Яковлева, А.В. Бармасов, А.М. Бармасова, В.В. Косцов, Н.В. Дьяченко.

Ответственный редактор: А.П. Бобровский

Настоящее учебно-методическое пособие содержит методические указания и контрольная работа по разделу «Электростатика. Постоянный ток».

Цель данного учебно-методического пособия – оказать помощь студентам-заочникам в изучении курса физики.

В пособии даны основные формулы и контрольная работа. Кроме того, в пособии даны общие методические указания и некоторые справочные таблицы.

Учебно-методическое пособие может быть использовано как для аудиторных занятий, так и для самостоятельной работы студентов факультетов: метеорологического, гидрологического, экологического, океанологического.

© Авторы, 2018,

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2018

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Учебная работа студента-заочника по изучению физики складывается из следующих основных элементов: самостоятельного изучения физики по учебным пособиям, решения задач, выполнения контрольных и лабораторных работ, сдачи зачётов и экзаменов.

1. Указания к самостоятельной работе по учебным пособиям

1. Изучать курс систематически в течение всего учебного процесса. Изучение физики в сжатые сроки перед экзаменом не даст глубоких и прочных знаний.

2. Выбрав какое-либо учебное пособие в качестве основного для определённой части курса, придерживаться данного пособия при изучении всей части или, по крайней мере, её раздела. Замена одного пособия другим в процессе изучения может привести к утрате логической связи между отдельными вопросами. Но если основное пособие не даёт полного и ясного ответа на некоторые вопросы программы, необходимо обращаться к другим учебным пособиям.

3. При чтении учебного пособия составлять конспекты, в которых записывать законы и формулы, выражающие эти законы, определение физических величин и их единиц, делать чертежи и решать типовые задачи. При решении задач следует пользоваться Международной системой единиц (СИ).

4. Самостоятельную работу по изучению физики подвергать систематическому контролю. Для этого после изучения очередного раздела следует ставить вопросы и отвечать на них. При этом надо использовать рабочую программу физики.

5. Прослушать курс лекций по физике, организуемый для студентов-заочников. Пользоваться очными консультациями преподавателей, а также задавать вопросы в письменном виде.

2. Указания к решению задач

1. 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 её следует вывести.

2. Дать чертёж, поясняющий содержание задачи (в тех случаях, когда это возможно); выполнять его надо аккуратно с помощью чертёжных принадлежностей.

3. Сопровождать решение задачи краткими, но исчерпывающими пояснениями.

4. Получить решение задачи в общем виде, т. е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При этом способе решения не производятся вычисления промежуточных величин.

5. 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.

6. Подставить в рабочую формулу числовые значения величин, выраженные в единицах одной системы. Несоблюдение этого правила приводит к неверному результату. Исключение из этого правила допускается лишь для тех однородных величин, которые входят в виде сомножителей в числитель и знаменатель формулы с одинаковыми показателями степени. Такие величины не обязательно выражать в единицах той системы, в которой ведётся решение задачи. Их можно выразить в любых, но только одинаковых единицах.

7. Произвести вычисление величин, подставленных в формулу, руководствуясь правилами приближенных вычислений записать в ответе числовое значение и сокращённое наименование единицы искомой величины.

8. При подстановке в рабочую формулу, а также при записи ответа числовые значения величин записать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 7460 надо записать $7,46 \cdot 10^3$, вместо 0,00000298 записать $2,98 \cdot 10^{-6}$ и т.д.

9. Оценить, где это целесообразно, правдоподобность числового ответа. В ряде случаев такая оценка поможет обнаружить ошибочность полученного результата. Например, коэффициент полезного действия тепловой машины не может быть больше единицы, 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 $c_0 = 3 \cdot 10^8$ м/с и т.д.

3. Указания к выполнению контрольных работ

К выполнению контрольных работ по каждому разделу физики студент-заочник приступает только после изучения материала, соответствующего данному разделу программы.

При выполнении контрольных работ студенту необходимо руководствоваться следующим:

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

Контрольная работа № 3 по физике
(вариант 4, номер зачётки 09134)
студента 2 курса гидрологического факультета РГГМУ
Пушкина Александра Сергеевича.

Адрес: индекс 190000, г. С.-Петербург, Невский пр., д. 77, кв. 1.

2. Условия задач к контрольной работе переписываются полностью без сокращений. Для замечаний преподавателя на страницах тетради оставляются поля.

3. 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.

4. Высылать на рецензию следует одновременно не более одной работы. Во избежание одних и тех же ошибок очередную работу следует высылать только после получения рецензии на предыдущую.

5. Если контрольная работа при рецензировании не зачтена, студент обязан представить её на повторную рецензию, включив в неё те задачи, решения которых оказались неверными. Повторная работа представляется вместе с незачтённой.

6. В контрольной работе студент должен решить 8-9 задач того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой его зачётки. Номера задач, которые студент должен включить в контрольную работу, определяются по таблицам вариантов.

7. Зачтённые контрольные работы предъявляются экзаменатору. Студент должен быть готов во время экзамена дать пояснения по существу решения задач, входящих в контрольные работы.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

В данном издании векторные величины обозначаются жирным шрифтом, а скалярные – обычным (например, E – скаляр, а \mathbf{E} – вектор).

Закон сохранения электрического заряда:

Полный электрический заряд замкнутой (изолированной, закрытой) физической системы, равный алгебраической сумме зарядов слагающих систему элементарных частиц, строго сохраняется во всех взаимодействиях и превращениях этой системы.

Закон Кулона в среде в системе СИ:

$$|F| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{q_1q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_a} \frac{q_1q_2}{r^2}, \quad (3.1.1)$$

где произведение $\epsilon_0 \cdot \epsilon \equiv \epsilon_a$ – **абсолютная диэлектрическая проницаемость данной среды**.

Вектор напряжённости, электрическое поле или просто напряжённость:

$$\mathbf{E} \equiv \frac{\mathbf{F}}{q_0}. \quad (3.2.1)$$

Объёмная плотность электрического заряда ρ в точке (x, y, z) :

$$\rho(x, y, z) = \lim_{\delta V \rightarrow 0} \frac{\delta q}{\delta V} \approx \frac{dq}{dV}, \quad (3.2.2)$$

где δq – величина заряда, находящегося в объёме δV в окрестности точки (x, y, z) в момент времени t .

Поверхностная плотность электрического заряда σ :

$$\sigma(x, y) = \lim_{\delta S \rightarrow 0} \frac{\delta q}{\delta S} \approx \frac{dq}{dS}, \quad (3.2.3)$$

где δq – заряд элемента поверхности δS .

Линейная плотность электрического заряда λ :

$$\lambda(x) = \lim_{\delta L \rightarrow 0} \frac{\delta q}{\delta L} \approx \frac{dq}{dL}, \quad (3.2.4)$$

где δq – заряд элемента линии δL .

Электрический дипольный момент¹ p – вектор, равный произведению заряда q электрического диполя на его ось l и направленный вдоль оси от отрицательного заряда к положительному:

$$p \equiv ql. \quad (3.2.5)$$

Вектор электрического смещения² (вектор электрической индукции) D для вакуума:

$$D \equiv \varepsilon_0 E. \quad (3.3.1)$$

Поток Φ_D вектора электрической индукции (поток вектора электрического смещения, поток электрического смещения, поток индукции) через площадку произвольной формы, перпендикулярную линиям вектора D , площадью S есть скаляр, равный произведению $|D|$ на S :

$$\Phi_D = DS. \quad (3.3.2)$$

Для произвольной поверхности S поток вектора электрической индукции Φ_D , создаваемый системой электрических зарядов, равен алгебраической сумме потоков электрической индукции, создаваемых каждым зарядом в отдельности:

$$\Phi_D = \int D \cos \alpha dS = \int D_n dS. \quad (3.3.3)$$

Поток Φ_E вектора напряжённости E электростатического поля для произвольной поверхности:

$$\Phi_E = \int_S E_n dS. \quad (3.3.4)$$

Теорема Гаусса:

Поток Φ_D вектора электрической индукции через любую замкнутую поверхность пропорционален полному свободному заряду,

¹ Другое название – **момент диполя**.

² Термин имеет историческое происхождение (введён Максвеллом), в современной физической литературе обычно применяется название «вектор электрической индукции».

заклѳченному внутри ѳбъѳма, охватываемого замкнутой поверхностью в системе СИ:

$$\Phi_D = \oint_S D_n dS = \sum_i q_i . \quad (3.3.5)$$

Напряжѳнность электростатического поля равномерно заряженной бесконечной плоскости прямо пропорциональна поверхностной плотности заряда и не зависит от расстояния до точки, в которой измеряют поле:

$$E = \frac{1}{2\varepsilon_0} \sigma . \quad (3.3.6)$$

Напряжѳнность электростатического поля между двумя бесконечными параллельными плоскостями, равномерно заряженными разноимѳнными зарядами, равняется удвоенной напряжѳнности электростатического поля, создаваемого одной заряженной плоскостью, однородна и не зависит от расстояния между плоскостями:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} . \quad (3.3.7)$$

Напряжѳнность электростатического поля между заряженными поверхностями зависит от расстояния r рассматриваемой точки поля от центра внутренней сферы, но не зависит от размеров внешней поверхности (радиус внешней сферы может быть сколь угодно большим):

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} . \quad (3.3.8)$$

Электрическая индукция (а, следовательно, и напряжѳнность) электростатического поля во всех точках, расположенных внутри равномерно заряженной сферы равняется нулю. Напряжѳнность электростатического поля, создаваемого равномерно заряженной сферой в окружающем её пространстве (на расстоянии r , много большем радиуса сферы R), эквивалентна напряжѳнности электростатического поля, создаваемого таким же зарядом, расположенным в центре сферы:

$$E_{\text{внутри сферы}} = D_{\text{внутри сферы}} = 0, \quad (3.3.9)$$

$$E_{\text{вне сферы}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}.$$

Напряжённость электростатического поля равномерно заряженной бесконечной цилиндрической поверхности прямо пропорциональна поверхностной плотности заряда и обратно пропорциональна расстоянию от оси цилиндрической поверхности до точки, в которой измеряют поле:

$$E = k_0 \frac{4\pi R\sigma}{r}. \quad (3.3.10)$$

Дифференциальный аналог теоремы Гаусса (**уравнение Пуассона**):

$$\sum_{\xi} \frac{\partial E_{\xi}}{\partial r_{\xi}} = \rho(\mathbf{r}), \quad (3.3.11)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = \rho.$$

Величина работы A по перемещению заряда в электростатическом поле зависит лишь от его начального и конечного положений и не зависит от пути движения. Это позволяет ввести для электростатического поля скалярную характеристику – **электрический потенциал** или **потенциал электрического поля в точке** или просто **потенциал точки** φ . Потенциал электрического поля численно равен работе, совершаемой электростатическим полем при перемещении положительного единичного пробного заряда по любому пути из данной точки в ту точку пространства, где его значение принято равным нулю (начальная точка):

$$\varphi \equiv \frac{A}{q'}. \quad (3.4.1)$$

Вектор напряжённости электростатического поля \mathbf{E} равен градиенту потенциала этого поля, взятому с отрицательным знаком:

$$E = - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} e_x + \frac{\partial \varphi}{\partial y} e_y + \frac{\partial \varphi}{\partial z} e_z \right) = -\text{grad} \varphi. \quad (3.4.2)$$

Дипольный момент молекулы μ характеризует электрические свойства молекулы:

$$\mu \equiv \sum_i q_i r_i, \quad (3.5.1)$$

где q_i – заряды составляющих молекулу частиц (атомов); r_i – их радиус-векторы относительно произвольно выбранного начала координат.

Коэффициент поляризуемости молекул неполярного диэлектрика в электростатическом поле E_0 :

$$-\beta \equiv \frac{p'}{\varepsilon_0 E_0} = \frac{p'}{D}. \quad (3.5.2)$$

Векторную сумму дипольных моментов *неполярного диэлектрика*, индуцированных внешним электростатическим полем в единице объёма, называют **вектором поляризации** или **поляризованностью единицы объёма P** :

$$P = \varepsilon_0 \chi_e E_0, \quad (3.5.3)$$

где $n = \frac{N}{V}$ – объёмная плотность (концентрация) диполей; $\chi_e = -n\beta$ – диэлектрическая восприимчивость, т. е. поляризуемость молекул в единице объёма неполярного диэлектрика.

Диэлектрическая восприимчивость χ_e – величина, характеризующая способность единицы объёма вещества поляризоваться, т. е. изменять свою поляризацию под действием внешнего электрического поля E_0 :

$$\chi_e \equiv \frac{dP}{dE_0}. \quad (3.5.4)$$

Закон Кюри–Вейса:

$$\chi_e = \frac{C}{T - T_K}, \quad (3.5.5)$$

где C – константа, характерная для данного сегнетоэлектрика.

Число свободных электронов в единице объёма равняется:

$$n = \frac{ZN_A\rho}{A}, \quad (3.6.1)$$

где Z – число валентных электронов в атоме металла; N_A – число Авогадро; ρ – массовая плотность металла; A – относительная атомная масса.

Ёмкостью C называется отношение сообщённого заряда q к возникающему в результате этого потенциалу φ . **Электрической ёмкостью (электроемкостью) конденсатора** или просто его **ёмкостью** C называют физическую величину, равную отношению заряда q , накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов $(\varphi_1 - \varphi_2)$ между его обкладками:

$$C \equiv \frac{q}{(\varphi_1 - \varphi_2)}. \quad (3.6.2)$$

Электрическая ёмкость плоского конденсатора:

$$C = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{d}, \quad (3.6.3)$$

где S – площадь каждой пластины; d – расстояние между пластинами.

Собственная (потенциальная) энергия конденсатора:

$$W = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}, \quad (3.6.4)$$

где q – электрический заряд; C – электрическая ёмкость.

Объёмная плотность электрической энергии, т. е. энергия единицы объёма электростатического поля в конденсаторе равна:

$$w_e = \frac{E_n}{V} = \frac{1}{2} \varepsilon_a E^2. \quad (3.6.4)$$

При параллельном соединении конденсаторов их электроёмкости суммируются:

$$C_{\text{общ}} = \sum_i C_i. \quad (3.6.5)$$

При последовательном соединении конденсаторов суммируются величины, обратные их ёмкостям, т. е. суммарная ёмкость уменьшается:

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \sum_i \frac{1}{C_i}. \quad (3.6.6)$$

Зависимость сопротивления от температуры характеризуется **температурным коэффициентом сопротивления α** :

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha T), \quad (3.7.1)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление проводника при $T = 0$ °С.

Закон Ома для участка однородной цепи:

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2)}{R}, \quad (3.7.2)$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка; R – его сопротивление.

Закон Ома для участка неоднородной (т. е. содержащей ЭДС) цепи:

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \sum E}{\sum R}, \quad (3.7.3)$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка; $\sum E$ – алгебраическая сумма всех ЭДС, имеющих на данном участке; $\sum R$ – сумма всех сопротивлений участка.

Закон Ома для замкнутой (полной) цепи:

$$I = \frac{E}{R + r}, \quad (3.7.4)$$

где E – электродвижущая сила; r – внутреннее сопротивление элемента.

Закон Ома в дифференциальной (локализованной) форме:

$$j = \frac{1}{\rho} E = \sigma E, \quad (3.7.5)$$

где σ – удельная проводимость (электропроводность $\rho = \frac{1}{\sigma}$).

Мощность на участке цепи:

$$P = I^2 R \Rightarrow \quad (3.7.6)$$

$$\Rightarrow P = UI \Rightarrow U = \frac{P}{I}. \quad (3.7.7)$$

В случае если участок цепи представляет собой неподвижный однородный проводник, подчиняющийся закону Ома, то справедлив **закон Джоуля–Ленца**:

$$Q = A = I^2 R t, \quad (3.7.8)$$

где Q – количество теплоты, выделяющейся в единицу времени на участке электрической цепи с сопротивлением R при протекании по нему постоянного тока I .

Закон Джоуля в интегральной форме:

$$Q = I \int_l E_l dl. \quad (3.7.9)$$

Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма сил токов на участках цепи, сходящихся в любой точке разветвления (в узлах), равна нулю:

$$\sum_i I_i = 0. \quad (3.7.10)$$

Второе правило Кирхгофа: для любого замкнутого контура сумма всех падений напряжения равна сумме всех электродвижущих сил в этом контуре:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k E_k. \quad (3.7.11)$$

Первый закон Фарадея для электролиза:

Масса m вещества, выделившаяся на каком-либо из электродов, пропорциональна величине заряда Q , прошедшего через электролит:

$$m = KQ = KeZN = KIt, \quad (3.8.1)$$

где K – **электрохимический эквивалент вещества**, численно равный массе вещества, выделившегося на электроде, при прохождении через электролит единицы количества электричества. Обычно K выражают в граммах (или миллиграммах) на кулон.

Второй закон Фарадея для электролиза:

$$K = \frac{1}{F} \frac{A}{Z}, \quad (3.8.2)$$

где $F \approx 96\,500$ Кл·моль⁻¹ – постоянная Фарадея; $\frac{A}{Z}$ – химический эквивалент вещества; $A = mN$ – атомная масса вещества; Z – валентность вещества.

Объединённый закон Фарадея для электролиза:

$$m = \frac{A}{Z} \frac{Q}{F}. \quad (3.8.3)$$

Количество вещества, масса которого в граммах равна химическому эквиваленту, называют **грамм-эквивалентом** (г-экв).

Зависимость величины электрического тока между двумя электродами (катодом и анодом) в вакууме от потенциала анода – закон Богуславского–Лёнгмюра (формула Ленгмюра, закон «3/2»): при малых напряжениях U между эмиттером (катодом) и анодом модуль

плотности тока моноэнергетических электронов описывается законом трёх вторых:

$$j = \frac{4\sqrt{2}\epsilon_0}{9} \sqrt{\frac{e}{m_e}} \frac{U^{\frac{3}{2}}}{d^2}, \quad (3.8.4)$$

где j – модуль плотности тока; e и m_e – заряд и масса электрона; U и d – напряжение и расстояние между электродами.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1.

Два одинаковых небольших одноимённо заряженных шарика подвешены на изолирующих нитях равной длины к одной точке. При заполнении окружающей среды керосином угол расхождения нитей не изменился. Найдите плотность материала шариков. $\epsilon_k = 2$, $\rho_k = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Решение:

Пусть l – расстояние между шариками, q – заряд каждого из них, 2α – угол между нитями. Тогда в воздухе:

$$\mathbf{F}_K + \mathbf{T} + m\mathbf{g} = 0, \quad (1)$$

где \mathbf{F}_K – сила Кулона.

Ось OX – горизонтальна, OY – вертикальна:

$$OX: -F_K + T \sin \alpha = 0, \quad (2)$$

$$OY: T \cos \alpha - mg = 0, \quad (3)$$

$$F_K = mgtg\alpha, \quad (4)$$

$$F_K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{l^2} \quad (5)$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{l^2} = mgtg\alpha. \quad (6)$$

В керосине:

$$\mathbf{F}_K + \mathbf{F}_A + \mathbf{T} + m\mathbf{g} = 0, \quad (7)$$

где \mathbf{F}_A – сила Архимеда.

Ось OX – горизонтальна, OY – вертикальна:

$$OX: -F_K + T \sin \alpha = 0, \quad (8)$$

$$OY: F_A + T \cos \alpha - mg = 0, \quad (9)$$

$$F = (mg - F_A)tg\alpha, \quad (10)$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_k\epsilon_0} \frac{q^2}{l^2}, \quad (11)$$

$$F_A = \rho_k gV, \quad (12)$$

$$mg = \rho_{ш} gV \quad (13)$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_k\epsilon_0} \frac{q^2}{l^2} = \rho_{ш} g V \left(1 - \frac{\rho_k}{\rho_{ш}} \right) \operatorname{tg} \alpha, \quad (14)$$

$$\frac{1}{\epsilon_k} = \left(1 - \frac{\rho_k}{\rho_{ш}} \right), \quad (15)$$

$$\rho_{ш} = \rho_k \frac{\epsilon_k}{\epsilon_k - 1} = 1600 \left(\text{кг} \cdot \text{м}^{-3} \right). \quad (16)$$

Ответ: $\rho_{ш} \approx 1600 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

Пример 2.

Определите материал, из которого изготовлена проволока, если при длине $l = 20 \text{ м}$ и диаметре $d = 5,64 \text{ мм}$ её сопротивление при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$ равно $0,0229 \text{ Ом}$.

Решение:

Площадь сечения проволоки:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \approx \frac{3,14 \cdot 5,64^2}{4} \approx 25 \left(\text{мм}^2 \right). \quad (1)$$

Удельное сопротивление материала проволоки:

$$\rho = \frac{RS}{l} = \frac{0,0229 \cdot 25}{20} \approx 2,9 \cdot 10^{-8} \left(\text{Ом} \cdot \text{м} \right). \quad (2)$$

Таким образом, материал проволоки – алюминий.

Ответ: Алюминий.

ТАБЛИЦА ВАРИАНТОВ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ 3

Вариант	Номера задач							
0	307	319	325	339	344	353	372	380
1	305	324	326	337	341	350	370	377
2	302	318	332	338	345	351	369	378
3	306	320	329	335	346	353	372	376
4	304	323	331	333	344	349	368	377
5	305	322	329	334	348	356	366	375
6	302	318	330	338	343	354	367	379
7	303	321	327	335	341	350	368	373
8	308	323	325	340	347	355	365	374
9	301	317	328	336	342	352	371	376

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА 3

ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

301. Точечные заряды $Q_1 = 20$ мкКл, $Q_2 = -10$ мкКл находятся на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Определите напряжённость поля в точке, удалённой на $r_1 = 3$ см от первого и $r_2 = 4$ см от второго заряда. Определите также силу F , действующую в этой точке на точечный заряд $Q = 1$ мкКл.

302. Три одинаковых точечных заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 2$ нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 10$ см. Определите модуль и направление силы F , действующей на один из зарядов со стороны двух других.

303. Два положительных точечных заряда $Q_1 = Q$ и $Q_2 = 9Q$ закреплены на расстоянии $L = 100$ см друг от друга. Определите, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить третий заряд Q_3 так, чтобы он находился в равновесии. Укажите, какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещения заряда возможны только вдоль прямой, проходящей через закреплённые заряды.

304. Два одинаковых заряженных шарика подвешены в одной точке на нити одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α . Шарик погружаются в масло. Какова плотность ρ_0 масла, если угол расхождения нитей при погружении шариков в масло остаётся неизменным? Плотность материала шариков $\rho = 1,5 \cdot 10^3$ кг/м³, диэлектрическая проницаемость масла $\epsilon = 2,2$.

305. Четыре одинаковых заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 40$ нКл закреплены в вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Найдите силу F , действующую на один из этих зарядов со стороны трёх других.

306. В вершинах квадрата находятся одинаковые заряды $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 10$ нКл. Какой отрицательный заряд Q нужно поместить в центре квадрата, чтобы сила взаимного отталкивания положительных зарядов была уравновешена силой притяжения отрицательного заряда?

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

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

309. На тонком кольце равномерно распределён заряд с линейной плотностью заряда $\lambda = 0,2$ нКл/см. Радиус кольца $R = 15$ см. На срединном перпендикуляре к плоскости кольца находится точечный заряд $Q = 10$ нКл. Определите силу F , действующую на точечный заряд со стороны заряженного кольца, если он удалён от центра кольца на расстояние: 1) $a = 20$ см; 2) $b = 10$ см.

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

311. Определите напряжённость E поля, создаваемого зарядом, равномерно распределённым по тонкому прямому стержню с линейной плотностью заряда $\lambda = 200$ нКл/м в точке, лежащей на продолжении оси стержня на расстоянии $a = 20$ см от ближайшего конца. Длина стержня $L = 40$ см.

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

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

314. Два длинных, тонких равномерно заряженных ($\lambda = 1$ 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. Найдите силу F , действующую на заряд $Q = 10$ нКл, помещённый в точку пересечения осей стержня.

315. Тонкое полукольцо радиусом $R = 20$ см несёт равномерно распределённый заряд $Q_1 = 2$ мкКл. Определите силу F , действующую

на точечный заряд $Q_2 = 40$ нКл, расположенный в центре кривизны полукольца.

316. Определите напряжённость E поля, создаваемого тонким длинным стержнем, равномерно заряженным с линейной плотностью $\lambda = 20$ мкКл/м в точке, находящейся на расстоянии $a = 2$ см от стержня, вблизи его середины.

317. Параллельно бесконечной плоскости, заряженной с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 4$ мкКл/м², расположена бесконечно длинная прямая нить, заряженная с линейной плотностью заряда $\tau = 100$ нКл/м. Определите силу F , действующую со стороны плоскости на отрезок нити длиной $L = 1$ м.

318. Две одинаковые круглые пластины площадью $S = 400$ см² каждая расположены параллельно друг другу. Заряд одной пластины $Q_1 = 400$ нКл, другой $Q_2 = -200$ нКл. Определите силу F взаимного притяжения пластин, если расстояние между ними: а) $r_1 = 3$ мм; б) $r_2 = 10$ м.

319. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром $d = 20$ см равномерно распределён заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 4$ мкКл/м². Определите напряжённость поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на расстоянии $a = 15$ см.

320. Определите с какой силой (на единицу площади) взаимодействуют две бесконечные параллельные плоскости, заряженные с одинаковой поверхностной плотностью заряда $\sigma = 5$ мкКл/м²?

321. Две длинные прямые параллельные нити находятся на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. На нитях равномерно распределены заряды с линейными плотностями заряда $\lambda_1 = -5$ нКл/см и $\lambda_2 = 10$ нКл/см. Определите напряжённость E электрического поля в точке, удалённой от первой нити на расстояние $r_1 = 3$ см и от второй на расстояние $r_2 = 4$ см.

322. К бесконечной равномерно заряженной вертикальной плоскости подвешен на нити одновременно заряженный шарик массой $m = 50$ мг и зарядом $Q = 0,6$ нКл. Сила натяжения нити, на которой висит шарик, $F = 0,7$ мН. Найдите поверхностную плотность заряда σ на плоскости.

323. С какой силой (на единицу площади) взаимодействуют две бесконечные параллельные нити с одинаковой линейной плотностью

заряда $\lambda = 20$ мкКл/м, находящиеся на расстоянии $r = 10$ см друг от друга?

324. Поверхностная плотность заряда σ бесконечно протяжённой вертикальной плоскости равна 400 мкКл/м². К плоскости на нити подвешен заряженный шарик массой $m = 10$ г. Определите заряд Q шарика, если нить образует с плоскостью угол $\alpha = 30^\circ$.

325. Определите потенциальную энергию W системы двух точечных зарядов $Q_1 = 400$ нКл и $Q_2 = 20$ нКл, находящихся в вакууме на расстоянии $r = 5$ см друг от друга.

326. Две параллельные заряженные плоскости, поверхностные плотности зарядов которых $\sigma_1 = 2$ мкКл/м² и $\sigma_2 = -0,8$ мкКл/м², находятся на расстоянии $d = 0,6$ см друг от друга. Определите разность потенциалов $\Delta\phi$ между плоскостями.

327. Поле образовано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 40$ нКл/м². Определите разность потенциалов $\Delta\phi$ двух точек поля, отстоящих от плоскости на $r_1 = 15$ см и $r_2 = 20$ см.

328. Четыре одинаковые капли ртути, заряженные до потенциала $\phi = 10$ В, сливаются в одну. Каков потенциал ϕ_1 образовавшейся капли?

329. Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом $R = 10$ см. Он равномерно заряжен с линейной плотностью заряда $\lambda = 800$ нКл/м. Определите потенциал ϕ в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии $x = 10$ см от его центра.

330. Поле образовано точечным диполем с электрическим моментом $p = 200$ пКл·м. Определите разность потенциалов $\Delta\phi$ двух точек поля, расположенных симметрично относительно диполя на его оси на расстоянии $r = 40$ см от центра диполя.

331. Электрическое поле образовано бесконечно длинной заряженной нитью, линейная плотность заряда которой $\lambda = 20$ пКл/м. Определите разность потенциалов $\Delta\phi$ двух точек поля, отстоящих от нити на расстоянии $r_1 = 8$ см и $r_2 = 12$ см.

332. Тонкая квадратная рамка равномерно заряжена с линейной плотностью заряда $\lambda = 200$ пКл/м. Определите потенциал ϕ поля в точке пересечения диагоналей.

333. Пылинка массой $m = 200$ мкг, несущая на себе заряд $Q = 40$ нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов $\Delta\phi = 200$ В пылинка имела

скорость $v = 10$ м/с. Определите скорость v_0 пылинки до того, как она влетела в поле.

334. Электрон, обладающий кинетической энергией $E_k = 10$ эВ, влетел в однородное электрическое поле в направлении силовых линий поля. Какой скоростью будет обладать электрон, пройдя в этом поле разность потенциалов $\Delta\phi = 8$ В?

335. Найдите отношение скоростей ионов кальция Ca^{++} и калия K^+ , прошедших одинаковую разность потенциалов.

336. Электрон с энергией $E_k = 400$ эВ (в бесконечности) движется вдоль силовой линии по направлению к поверхности металлической заряженной сферы радиусом $R = 10$ см. Определите минимальное расстояние a , на которое приблизится электрон к поверхности сферы, если её заряд $Q = -10$ нКл.

337. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрёл скорость $v = 10^5$ м/с. Расстояние между пластинами $d = 8$ мм. Найдите: 1) разность потенциалов $\Delta\phi$ между пластинами; 2) поверхностную плотность зарядов σ на пластинах.

338. Пылинка массой $m = 5$ мг, несущая на себе $N = 10$ электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $\Delta\phi = 1$ мВ. Какова кинетическая энергия E_k пылинки? Какую скорость v приобрела пылинка?

339. Ион атома лития Li^+ прошёл разность потенциалов $\Delta\phi_1 = 400$ В, ион атома Na^+ – разность потенциалов $\Delta\phi_2 = 300$ В. Найдите отношение скоростей этих ионов.

340. 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 пренебрегите.

341. Расстояние между пластинами плоского конденсатора $d = 2$ мм, разность потенциалов $\Delta\phi = 600$ В, заряд каждой пластины $Q = 40$ нКл. Определите энергию W поля конденсатора и силу F взаимного притяжения пластин.

342. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора ёмкостью $C_1 = 100$ пФ каждый соединены в батарею последовательно. Определите изменение ёмкости батареи, если пространство между пластинами одного конденсатора заполнить парафином.

343. Два конденсатора ёмкостью $C_1 = 5$ мкФ и $C_2 = 8$ мкФ соединены последовательно и присоединены к батарее с ЭДС $E = 80$ В. Определите заряды Q_1 и Q_2 конденсаторов и разности потенциалов $\Delta\varphi_1$ и $\Delta\varphi_2$ между их обкладками.

344. Плоский конденсатор состоит из двух плоских пластин радиусом $R = 10$ см каждая. Расстояние между пластинами $d = 2$ мм. Конденсатор присоединен к источнику напряжения $U = 80$ В. Определите заряд Q и напряжённость E поля конденсатора в двух случаях: 1) диэлектрик–воздух; 2) диэлектрик–стекло.

345. Два одинаковых плоских воздушных конденсатора соединены последовательно в батарею, которая подключена к источнику тока ЭДС $E = 12$ В. Определите изменение напряжения на одном из конденсаторов, если другой погрузить в трансформаторное масло.

346. 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. Найдите энергию W , которая выделится при разрядке, если шары соединить проводником.

347. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено двумя слоями диэлектрика: стекла толщиной $d_1 = 2$ см и слоем парафина толщиной $d_2 = 0,3$ см. Разность потенциалов между обкладками $\Delta\varphi = 300$ В. Определите напряжённость E поля и падение потенциала в каждом из слоёв.

348. Плоский конденсатор (диэлектрик–стекло) с площадью пластин $S = 200$ см² каждая, заряжен до разности потенциалов $\Delta\varphi = 2$ кВ. Расстояние между пластинами $d = 2$ см. Определите энергию W поля конденсатора и плотность w энергии поля.

349. Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединён вольтметр с сопротивлением $r = 4$ кОм. Амперметр показывает силу тока $I = 0,3$ А, вольтметр – напряжение $U = 120$ В. Определите сопротивление R катушки. Определите относительную погрешность δR , которая будет допущена при изменении сопротивления, если пренебречь силой тока, текущего через вольтметр.

350. ЭДС батареи $E = 80$ В, внутреннее сопротивление $r = 5$ Ом. Внешняя цепь потребляет мощность $P = 100$ Вт. Определите силу тока I в цепи, напряжение U , под которым находится внешняя цепь, и её сопротивление R .

351. От батареи, ЭДС которой $E = 600$ В, требуется передать энергию на расстояние $L = 1$ км. Потребляемая мощность $P = 5$ кВт. Найдите минимальные потери мощности в сети, если диаметр медных подводящих проводов $d = 0,5$ см.

352. Определите число электронов, проходящих за время $t = 1$ с через поперечное сечение площадью $S = 1$ мм² железной проволоки длиной $L = 20$ м при напряжении на её концах $U = 16$ В.

353. ЭДС батареи $E = 24$ В. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I = 10$ А. Определите максимальную мощность P_{\max} , которая может выделяться во внешней цепи.

354. При внешнем сопротивлении $R_1 = 8$ Ом сила тока в цепи $I_1 = 0,8$ А, при сопротивлении $R_2 = 15$ Ом сила тока $I_2 = 0,5$ А. Определите силу тока $I_{\text{кз}}$ короткого замыкания источника ЭДС.

355. В сеть с напряжением $U = 100$ В подключили катушку с сопротивлением $R_1 = 2$ кОм и вольтметр, соединённые последовательно. Показания вольтметра $U_1 = 80$ В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал $U_2 = 60$ В. Определите сопротивление R_2 другой катушки.

356. ЭДС батареи $E = 12$ В. При силе тока $I = 4$ А коэффициент полезного действия батареи $\eta = 0,6$. Определите внутреннее сопротивление r батареи.

357. За время $t = 20$ с, при равномерно возрастающей силе тока от нуля до некоторого максимума, в проводнике сопротивлением $R = 5$ Ом выделилось количество теплоты $Q = 4$ кДж. Определите скорость нарастания силы тока $\Delta I/\Delta t$, если сопротивление проводника $R = 5$ Ом.

358. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0 e^{-\alpha t}$, где $I_0 = 20$ А, $\alpha = 10^2$ с⁻¹, e – основание натурального логарифма. Определите количество теплоты, выделившееся в проводнике за время $t = 10^{-2}$ с.

359. Сила тока в проводнике сопротивлением $R = 10$ Ом за время $t = 50$ с равномерно нарастает от $I_1 = 5$ А до $I_2 = 10$ А. Определите количество теплоты Q , выделившееся за это время в проводнике.

360. В проводнике за время $t = 10$ с при равномерном возрастании силы тока от $I_1 = 1$ А до $I_2 = 2$ А выделилось количество теплоты $Q = 5$ кДж. Найдите сопротивление R проводника.

361. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0 \sin \omega t$. Найдите заряд Q_0 , протекающий через поперечное сечение

проводника за время t , равное половине периода T , если в начальный момент времени сила тока $I_0 = 10$ А, циклическая частота $\omega = 50\pi$ с⁻¹.

362. За время $t = 10$ с при равномерно возрастающей силе тока от нуля до некоторого максимума в проводнике выделилось количество теплоты $Q = 40$ кДж. Определите среднюю силу тока $\langle I \rangle$ в проводнике, если его сопротивление $R = 25$ Ом.

363. За время $t = 8$ с при равномерно возрастающей силе тока в проводнике сопротивлением $R = 8$ Ом выделилось количество теплоты $Q = 500$ Дж. Определите заряд q , протекающий в проводнике, если сила тока в момент времени $t = 0$ равна нулю.

364. Определите количество теплоты Q , выделившееся за время $t = 10$ с в проводнике сопротивлением $R = 10$ Ом, если сила тока в нём, равномерно уменьшаясь, изменилась от $I_1 = 10$ А до $I_2 = 0$.

365. Резистор сопротивлением $R = 6$ Ом подключён к двум параллельно соединённым источникам тока с ЭДС $E_1 = 2,2$ В и $E_2 = 2,4$ В и внутренними сопротивлениями $R_1 = 0,8$ Ом и $R_2 = 0,2$ Ом. Определите силу тока I в этом резисторе и напряжение U на зажимах второго источника тока.

366. Определите силу тока I в каждом элементе и напряжение U на зажимах реостата (рис. 1), если ЭДС $E_1 = 12$ В, $E_2 = 6$ В, $R = 1$ Ом, $R_1 = 1,5$ Ом, и $R_2 = 20$ Ом.

367. Определите силы токов на всех участках электрической цепи (рис. 2), если ЭДС $E_1 = 8$ В, $E_2 = 12$ В, $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = 1$ Ом, $R_3 = 4$ Ом, $R_4 = 2$ Ом. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебрегите.

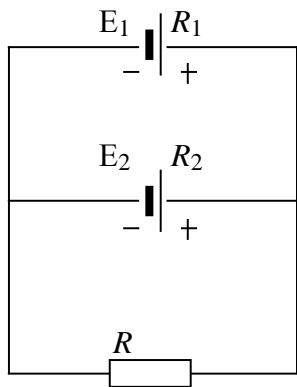


Рис. 1

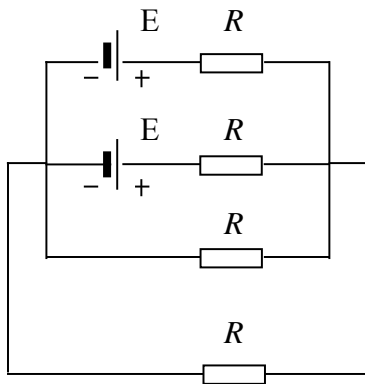


Рис. 2

368. Два источника тока с электродвижущими силами $E_1 = E_2 = 12 \text{ В}$ и внутренними сопротивлениями $R_1 = 4 \text{ Ом}$ и $R_2 = 2 \text{ Ом}$, а также реостат сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ соединены, как показано на рис. 3. Определите силы тока в реостате и источниках тока.

369. Две батареи (ЭДС $E_1 = 12 \text{ В}$, внутреннее сопротивление $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $E_2 = 24 \text{ В}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$) и реостат сопротивлением $R = 16 \text{ Ом}$ соединены, как показано на рис. 3. Определите силу тока в батареях и реостате.

370. Три резистора с сопротивлениями $R_1 = 6 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$ и $R_3 = 2 \text{ Ом}$, а также источник тока с ЭДС $E_1 = 2,2 \text{ В}$ соединены, как показано на рис. 4. Определите ЭДС E источника, который надо подключить в цепь между точками А и В так, чтобы в проводнике сопротивлением R_3 шёл ток силой $I_3 = 1 \text{ А}$ в направлении, указанном стрелкой. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебрегите.

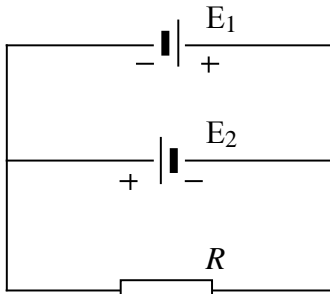


Рис. 3

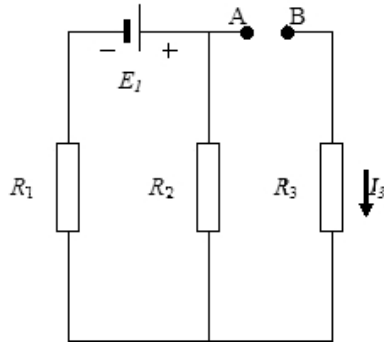


Рис. 4

371. Определите разность потенциалов между точками А и В (рис. 5), если ЭДС $E_1 = 8$ В, ЭДС $E_2 = 6$ В, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 8$ Ом. Внутренними сопротивлениями источников тока пренебрегите.

372. Определите силу тока I_3 в проводнике сопротивлением R_3 (рис. 5) и напряжением U_3 на концах этого проводника, если ЭДС $E_1 = 6$ В, $E_2 = 8$ В, $R_1 = 4$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 8$ Ом. Внутренним сопротивлением источников тока пренебрегите.

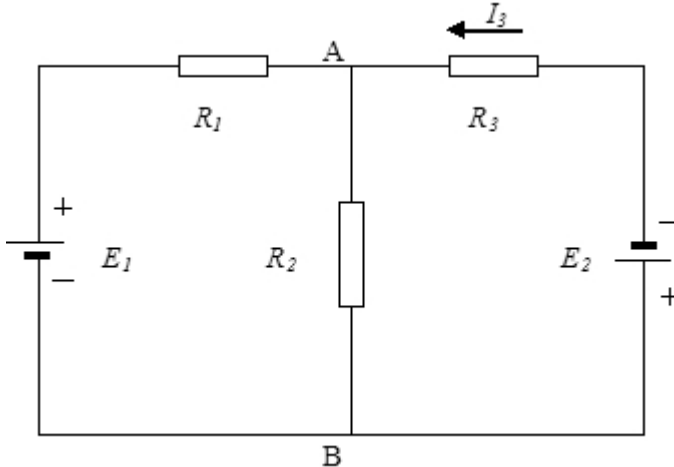


Рис. 5

373. Объём газа, заключённого между электродами и ионизационной камерой, $V = 0,8$ л. Газ ионизируется рентгеновским излучением. Сила тока насыщения $I_{\text{нас}} = 6$ нА. Сколько пар ионов

образуется за время $t = 1$ с в объёме $V_1 = 1 \text{ см}^3$ газа? Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

374. На расстоянии $d = 1$ см одна от другой расположены две пластины площадью $S = 400 \text{ см}^2$ каждая. Водород между пластинами ионизируют рентгеновским излучением. При напряжении $U = 100$ В между пластинами идёт далёкий от насыщения ток силой $I = 2$ мкА. Определите концентрацию n ионов одного знака между пластинами. Заряд каждого иона считайте равным элементарному заряду.

375. Посередине между электродами ионизационной камеры пролетела α -частица, двигаясь параллельно электродам, и образовала на своём пути цепочку ионов. Спустя какое время τ после пролёта α -частицы ионы дойдут до электродов, если расстояние между электродами $d = 2$ см, разность потенциалов $\Delta\phi = 6$ кВ и подвижность b ионов обоих знаков в среднем равна $1,5 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$?

376. Найдите сопротивление трубки длиной $L = 0,5$ м и площадью поперечного сечения $S = 5 \text{ мм}^2$, если она наполнена азотом, ионизированным так, что в объёме $V = 1 \text{ см}^3$ его находится при равновесии $n = 10^8$ пар ионов. Ионы одновалентны.

377. К электродам разрядной трубки, содержащей водород, приложена разность потенциалов $\Delta\phi = 10$ В. Расстояние d между электродами равно 25 см. Ионизатор создаёт в объёме $V = 1 \text{ см}^3$ водорода $n = 10^7$ пар ионов в секунду. Найдите плотность тока j в трубке. Определите также, какая часть силы тока создаётся движением положительных ионов.

378. Воздух ионизируется рентгеновскими излучениями. Определите удельную проводимость ν воздуха, если в объёме $V = 1 \text{ см}^3$ газа находится в условиях равновесия $n = 10^8$ пар ионов.

379. Азот между плоскими электродами ионизационной камеры ионизируется рентгеновским излучением. Сила тока, текущего через камеру, $I = 0,5$ мкА. Площадь каждого электрода $S = 200 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d = 1,5$ см, разность потенциалов $\Delta\phi = 150$ В. Определите концентрацию n ионов между пластинами, если ток далёк от насыщения. Заряд каждого иона равен элементарному заряду.

380. Газ, заключённый в ионизационной камере между плоскими пластинами облучается рентгеновским излучением. Определите плотность тока насыщения $j_{\text{нас}}$, если в объёме $V = 1 \text{ см}^3$ газа ионизатор образует $n = 5 \cdot 10^6$ пар ионов в секунду. Принять, что каждый ион несёт

на себе элементарный заряд. Расстояние между пластинами камеры $d = 2$ см.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Основные физические постоянные (округлённые значения)

Величина	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Газовая (универсальная) постоянная	R	8,314 Дж·К ⁻¹ моль ⁻¹
Гравитационная постоянная	G	6,672·10 ⁻¹¹ м ³ ·кг ⁻¹ ·с ⁻²
Масса покоя электрона	m_e	9,109·10 ⁻³¹ кг
Объём 1 моля газа при нормальных условиях	V_0	22,41·10 ⁻³ м ³ ·моль ⁻¹
Постоянная (число) Авогадро	N_A	6,022·10 ²³ моль ⁻¹
Постоянная Больцмана	k	1,38·10 ⁻²³ Дж·К ⁻¹
Постоянная Вина	b	2,9·10 ⁻³ м·К
Постоянная Планка	h	6,626·10 ⁻³⁴ Дж·с
Постоянная Планка универсальная	\hbar	1,054·10 ⁻³⁴ Дж·с
Постоянная Стефана–Больцмана	σ	5,67·10 ⁻⁸ Вт·м ⁻² ·К ⁻⁴
Скорость света в вакууме	c_0	3·10 ⁸ м·с ⁻¹
Температура, соответствующая 1 эВ	T	11 606 К
Электронвольт	эВ	1,6·10 ⁻¹⁹ Дж
Элементарный заряд (заряд протона)	e	1,6·10 ⁻¹⁹ Кл
Электрическая постоянная	ϵ_0	8,85·10 ⁻¹² Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	4 π ·10 ⁻⁷ Гн/м
Атомная единица массы	а.е.м.	1,66·10 ⁻²⁷ кг
Радиус Бора	a_0	0,529·10 ⁻¹⁰ м

2. Плотность твёрдых тел

Твёрдое тело	Плотность, кг/м ³	Твёрдое тело	Плотность, кг/м ³
Алюминий	$2,7 \cdot 10^3$	Литий	$0,53 \cdot 10^3$
Барий	$3,5 \cdot 10^3$	Медь	$8,93 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$	Мрамор	$2,7 \cdot 10^3$
Висмут	$9,8 \cdot 10^3$	Никель	$8,9 \cdot 10^3$
Вольфрам	$19,3 \cdot 10^3$	Платина	$21,4 \cdot 10^3$
Гранит	$2,6 \cdot 10^3$	Плексиглас (оргстекло)	$1,2 \cdot 10^3$
Древесина сухая, сосна	$0,5 \cdot 10^3$	Пробка	$0,2 \cdot 10^3$
Железо, сталь	$7,88 \cdot 10^3$	Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Золото	$19,3 \cdot 10^3$	Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Каменная соль	$2,2 \cdot 10^3$	Стекло (оконное)	$2,5 \cdot 10^3$
Кобальт	$8,8 \cdot 10^3$	Цезий	$1,9 \cdot 10^3$
Латунь	$8,55 \cdot 10^3$	Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

3. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³	Жидкость	Плотность, кг/м ³
Бензин (20 °С)	$0,7 \cdot 10^3$	Нефть	$0,8 \cdot 10^3$
Вода при 4 °С	$1,0 \cdot 10^3$	Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$	Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$
Молоко	$1,03 \cdot 10^3$	Спирт	$0,8 \cdot 10^3$

4. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/м ³	Газ	Плотность, кг/м ³
Азот	1,25	Воздух	1,29
Аргон	1,78	Гелий	0,18
Водород	0,09	Кислород	1,43

5. Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей при 20 °С

Жидкость	Коэффициент, мН/м	Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	73	Ртуть	500
Глицерин	62	Спирт	22
Мыльная вода	40		

6. 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	$2,7 \cdot 10^{-10}$

7. 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 центра Земли до центра Луны	$3,84 \cdot 10^8$ м
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6$ м		
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22}$ кг		

8. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость	Вещество	Проницаемость
Вода	81	Парафин	2
Масло трансформаторное	2,2	Стекло	7

9. Удельное сопротивление металлов

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

10. Подвижность ионов в газах, $\text{м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$

Газ	Положительные ионы	Отрицательные ионы
Азот	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Воздух	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

11. Показатель преломления

Вещество	Показатель	Вещество	Показатель
Алмаз	2,42	Глицерин	1,47
Вода	1,33	Стекло	1,5

12. Энергия ионизации

Вещество	E_i , Дж	E_i , эВ
Водород	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелий	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Литий	$1,21 \cdot 10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4

13. 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

14. Период полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ	Период полураспада	Изотоп	Символ	Период полураспада
Актиний	${}_{89}\text{Ac}^{225}$	10 сут.	Йод	${}_{53}\text{I}^{131}$	8 сут.
Кобальт	${}_{27}\text{Co}^{60}$	5,3 года	Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{90}$	27 лет
Магний	${}_{12}\text{Mg}^{27}$	10 мин.	Фосфор	${}_{15}\text{P}^{32}$	14,3 сут.
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	1620 лет	Церий	${}_{58}\text{Ce}^{144}$	285 сут.
Радон	${}_{86}\text{Rn}^{222}$	3,8 сут.	Кальций	${}_{20}\text{Ca}^{45}$	165 сут.

15. Относительная атомная масса A (округлённые значения) и порядковый номер Z некоторых элементов

Элемент	Символ	A	Z	Элемент	Символ	A	Z
Азот	N	14	7	Марганец	Mn	55	25
Алюминий	Al	27	13	Медь	Cu	64	29
Аргон	Ar	40	18	Молибден	Mo	96	42
Барий	Ba	137	56	Натрий	Na	23	11
Ванадий	V	60	23	Неон	Ne	20	10
Водород	H	1	1	Никель	Ni	59	28
Вольфрам	W	184	74	Олово	Sn	119	50
Гелий	He	4	2	Платина	Pt	195	78
Железо	Fe	56	26	Ртуть	Hg	201	80
Золото	Au	197	79	Сера	S	32	16
Калий	K	39	19	Серебро	Ag	108	47
Кальций	Ca	40	20	Уран	U	238	92
Кислород	O	16	8	Углерод	C	12	6
Магний	Mg	24	12	Хлор	Cl	35	17

16. Масса покоя m_0 и энергия покоя E_0 некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а.е.м.	Дж	МэВ
Электрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$11,5 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3 \cdot 10^{-10}$	1876
α -частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	5,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральный π -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

17. Массы атомов лёгких изотопов

Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.	Изотоп	Символ	Масса, а.е.м.
Нейтрон	${}_0n^1$	1,00867	Бор	${}_{10}B^{10}$	10,01294
Водород	${}^1H^1$	1,00783		${}_{10}B^{11}$	11,0093
	${}^1H^2$	2,0141	Углерод	${}^{12}C^6$	12,0000
Гелий	${}^3H^1$	3,01605			${}^{13}C^6$
	${}^2He^3$	3,01603		${}^{14}C^6$	14,00324
	${}^2He^4$	4,0026	Азот	${}^{14}N^7$	14,00307
Литий	${}^6Li^3$	6,01513	Кислород	${}^{16}O^8$	15,99491
	${}^7Li^3$	7,01601			${}^{17}O^8$
Бериллий	${}^7Be^4$	7,01693			
	${}^9Be^4$	9,01219			

18. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		Множите ль	Приставка		Множите ль
наименов ание	обозначе ние		наименов ание	обозначе ние	
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пэта	П	10^{15}	санти	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^9	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^6	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^3	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^2	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^1	атто	а	10^{-18}

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА 2 КУРСА ФЗО

Раздел 1. Электричество и магнетизм (Контрольная работа № 3)

Тема 1.1. Электростатика.

Электрический заряд. Закон сохранения и инвариантности электрического заряда. Квантование заряда. Закон Кулона. Природа электрического поля. Напряжённость электрического поля. Принцип суперпозиции полей. Графическое изображение полей. Поток напряжённости, теорема Остроградского–Гаусса. Электростатические поля заряженных тел: бесконечно протяженной плоскости, плоского конденсатора, равномерно заряженного по объёму шара, цилиндрического конденсатора. Циркуляция вектора напряжённости электростатического поля. Работа сил электрического поля по перемещению заряда. Потенциал, разность потенциалов. Эквипотенциальные поверхности. Связь напряжённости и потенциала.

Проводники в электрическом поле. Распределение зарядов на проводниках. Электрическое поле внутри проводника. Электростатическая защита. Электрическая ёмкость. Конденсаторы. Соединение конденсаторов в батарее.

Электрическое поле внутри диэлектрика. Поляризация диэлектриков и её типы. Вектор поляризации. Диэлектрическая восприимчивость и диэлектрическая проницаемость среды. Связанные заряды на границах диэлектрика. Вектор электрического смещения. Сегнетоэлектрики. Энергия заряженного проводника и конденсатора. Энергия электрического поля, объёмная плотность энергии.

Тема 1.2. Постоянный ток.

Теория Друде–Лоренца (классическая теория проводимости металлов). Вектор плотности тока. Законы Ома и Джоуля–Ленца в интегральной и дифференциальной форме. Закон Видемана–Франца. Затруднения классической теории проводимости. Законы Кирхгофа.

Тема 1.3. Магнитное поле.

Вектор магнитной индукции и вектор напряжённости магнитного поля. Закон Био–Савара–Лапласа. Принцип суперпозиции магнитных полей. Магнитное поле элемента проводника с током, прямого тока,

кругового тока. Вихревой характер магнитного поля. Закон полного тока. Магнитное поле соленоида и тороида.

Силовое действие магнитного поля на заряды и проводники с током. Взаимодействие токов. Магнитный поток. Контур с током в магнитном поле. Работа перемещения проводника с током и контура в магнитном поле. Движение заряженных частиц в магнитном поле Земли. Полярные сияния. Эффект Холла. Магнитные свойства вещества. Магнитный момент электронов и атомов. Типы магнетиков. Намагниченность. Магнитное поле в веществе. Ферромагнетики и их свойства. Домены. Магнитный гистерезис.

Тема 1.4. Электромагнитное поле.

Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея. Вихревые токи. Самоиндукция. Индуктивность. Энергия и плотность энергии магнитного поля.

Основы теории Максвелла для электромагнитного поля. Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Полная система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Электромагнитное поле.

Раздел 2. Механические и электромагнитные колебания и волны (Контрольная работа № 4)

Тема 2.1. Механические и электромагнитные колебания.

Понятия о колебательных процессах. Механические и электрические колебания. Гармонические колебания и их характеристики. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний. Гармонические осцилляторы: маятники, колебательный контур. Скорость и ускорение гармонического осциллятора. Энергия гармонических колебаний.

Сложение гармонических колебаний одинакового направления. Метод векторных диаграмм. Биения. Сложение взаимно перпендикулярных колебаний. Фигуры Лиссажу.

Затухающие колебания. Дифференциальные уравнения колебаний при наличии силы трения, омического сопротивления. Коэффициент затухания, логарифмический декремент. Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение колебаний при наличии вынуждающей силы. Резонанс.

Переменный ток. Закон Ома для цепи переменного тока. Сопротивление цепи переменного тока. Мощность в цепи переменного тока. Векторные диаграммы тока и напряжений. Резонанс токов и напряжений.

Тема 2.2. Упругие и электромагнитные волны.

Понятие волновых процессов. Волны в упругой среде. Уравнение плоской волны и ее характеристики: длина волны, волновой вектор, скорость. Волновое уравнение. Энергия упругой волны. Плотность потока энергии волны (вектор Умова). Интенсивность волны.

Акустические (звуковые) волны. Характеристики звуковых волн. Эффект Доплера. Сложение упругих волн. Интерференция волн. Стоячие волны.

Электромагнитные волны. Волновое уравнение электромагнитной волны. Плоская электромагнитная волна, её свойства. Излучение и распространение электромагнитных волн. Энергия электромагнитных волн. Вектор Пойнтинга. Шкала электромагнитных волн. Эффект Доплера для электромагнитных волн. Красное смещение.

Раздел 3. Волновая оптика. Основы квантовой физики (Контрольная работа № 5)

Тема 3.1 Волновая оптика.

Интерференция света. Когерентность световых волн. Разность хода. Разность фаз. Опыт получения когерентных световых пучков. Интерференция света в тонких плёнках. Клин. Кольца Ньютона.

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция на одной щели. Дифракционная решётка. Разрешающая способность оптических приборов. Дифракция на объемной решетке (формула Вульфа–Брегга).

Поляризация света. Естественный свет. Поляризованный свет. Поляризация при отражении. Закон Брюстера. Явление двойного лучепреломления. Закон Малюса.

Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия.

Поглощение света. Закон Бугера–Ламберта–Бера.

Рассеяние света.

Метод получения объёмного изображения предметов, основанный на явлении интерференции и дифракции света. Голография.

Тема 3.2. Квантовая природа электромагнитного излучения.

Тепловое излучение

Тепловое излучение, его характеристики. Закон Кирхгофа. Абсолютно «чёрное» тело. Законы теплового излучения абсолютно «чёрного» тела. Закон Стефана–Больцмана. Закон спектрального смещения Вина. УФ-катастрофа. Квантование излучения. Формула Планка.

Квантовая природа электромагнитного излучения

Квантовая природа света. Энергия, масса, импульс фотона. Давление света. Фотоэлектрический эффект, его законы. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм электромагнитного излучения.

Оптические квантовые генераторы (лазеры).

Тема 3.3. Элементы квантовой механики.

Корпускулярно-волновой дуализм материи. Волны де Бройля. Экспериментальное подтверждение волновой природы электронов. Опыты Девисона и Джермера. Эффект Вавилова–Черенкова.

Соотношение неопределённостей Гейзенберга для координат и импульса. Соотношение неопределённостей для энергии и времени.

Уравнение Шрёдингера. Движение свободной частицы. Волновая функция и её физический смысл. Частица в прямоугольной потенциальной яме (одномерный случай). Квантовый гармонический осциллятор. Туннельный эффект.

Раздел 4. Физика атома. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц (Контрольная работа № 6)

Тема 4.1. Физика атома.

Постулаты Бора. Экспериментальное подтверждение дискретности энергетических уровней. Опыт Франка и Герца. Модель атома водорода по Бору.

Строение атома. Квантово-механическое описание атома водорода. Квантовые числа. Спин электрона. Пространственное распределение электронной плотности в атоме водорода в различных состояниях. Энергетический и оптический спектры атома водорода.

Многоэлектронный атом. Эффект Зеемана. Заполнение электронных оболочек. Принцип Паули. Квантово-механическое

обоснование периодичности химических свойств элементов. Рентгеновское излучение. Молекулярные спектры.

Тема 4.2. Элементы ядерной физики и физики элементарных частиц.

Состав ядра. Естественная радиоактивность. Энергия связи. Дефект массы. Капельная модель ядра. Закон радиоактивного смещения. Закон радиоактивного распада. Объяснение α -излучения, γ -излучения. Поле ядерных сил.

Реакции превращения нуклонов. Открытие протона. Открытие нейтрона. Открытие нейтрино. Объяснение β -излучения.

Ядерные реакции синтеза. Ядерные реакции деления. Цепная реакция деления урана.

Элементарные частицы. Их классификация. Виды взаимодействия элементарных частиц. Космические лучи. Мезоны. Частицы и античастицы. Образование и уничтожение электронно-позитронных пар. Кварки и глюоны.

ЛИТЕРАТУРА

Задачники

1. *Волькенштейн В.С.* Сборник задач по общему курсу физики. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: 2006. – 328 с.
2. *Яковлева Т.Ю., Белов М.М., Скобликова А.Л., Бармасова А.М., Недзвецкая И.В., Бодунов Е.Н.* Контрольные работы № 3, 4, 5, 6 по дисциплине «Физика». Разделы «Электростатика. Постоянный ток», «Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны», «Оптика. Квантовая природа света», «Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы. Основы квантовой механики» – СПб.: РГГМУ, 2001. – 52 с.

Учебники

3. *Бармасов А.В., Холмогоров В.Е.* Курс общей физики для природопользователей. Электричество / Под ред. *А.П. Бобровского.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 448 с. – Серия «Учебная литература для вузов». – ISBN 978-5-9775-0420-1.
4. *Трофимова Т.И.* Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – Изд. 9-е, перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 560 с. – ISBN 5-7695-1670-4.

Справочник

5. *Нордлинг К., Остерман Дж.* Справочник по физике для учёного и инженера / Перевод с англ. и научное редактирование *А.В. Бармасова.* – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 528 с. – ISBN 978-5-9775-0312-9.

Описания лабораторных работ

6. *Белов М.М., Косцов В.В., Яковлева Т.Ю., Хлябич П.П.* Лабораторный практикум по дисциплине «Физика». I и II курс заочного обучения. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2010. – 58 с.

Методическая литература

7. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 6. Точечный заряд и электрический диполь / В кн.: Тезисы докладов Международной школы-семинара «Физика в системе высшего и среднего образования России» (Москва, 2010 г.) / Под ред. проф. Г.Г. Спирина. – М.: АПР, 2010. – 328 с. – С. 65-66.
8. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 9. Свободные электроны / В кн.: Актуальные проблемы преподавания физики в ВУЗах и школах стран постсоветского пространства. Материалы Международной школы-семинара «Физика в системе высшего и среднего образования» (Москва, 2012 г.) / Под ред. проф. Г.Г. Спирина. – М.: АПР, 2012. – С. 38-40. ISBN 978-5-904761-31-8.
9. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 12. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики / В кн.: Наука и образование в XXI веке: Сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 30 января 2015 г.: в 5 частях. Часть III. – М.: ООО «АР-Консалт», 2015. – 153 с. – С. 91-94. ISBN 978-5-9906262-5-6.
10. Бармасов А.В., Бармасова А.М., Яковлева Т.Ю. Строгость определений в курсе общей физики. 11. Электрический потенциал, разность потенциалов и электрическое напряжение / В кн.: Физика в системе современного образования (ФССО-2015): Материалы XIII Международной конференции, Санкт-Петербург, 1-4 июня 2015 г. Т. 1. – СПб.: Изд-во ООО «Фора-принт», 2015. – С. 46-48. ISBN 978-5-9031-8753-9.
11. Яковлева Т.Ю., Белов М.М., Скобликова А.Л., Бармасова А.М., Бобровский А.П. Учебно-методическое пособие по выполнению контрольных работ по дисциплине «Физика». Разделы «Электростатика. Постоянный ток», «Электромагнетизм. Электромагнитные колебания и волны», «Оптика. Квантовая природа света», «Физика атомов и атомных ядер. Элементарные частицы. Основы квантовой механики». – СПб.: РГГМУ, 2001.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания	3
Теория: Электростатика. Постоянный ток	6
Примеры решения задач	16
Таблицы вариантов к контрольной работе 3	18
Контрольная работа 3: Электростатика. Постоянный ток	19
Приложения	30
Рабочая программа 2 курса ФЗО	37
Литература	42

Учебное издание

Методические указания и
контрольная работа № 3
по дисциплине «Физика».

Раздел
«Электростатика. Постоянный ток»
Курс 2

Составители:
Татьяна Юрьевна Яковлева и др.

Ответственный редактор
Анатолий Петрович Бобровский

Редактор
ЛР № 020309 от 30.12.96

Подписано в печать 07.03.18. Формат 60×90 1/16.
Гарнитура Times New Roman.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 2,87. Тираж 70 экз. Заказ № 652/1.
РГГМУ, 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
