

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Санкт-Петербургский государственный горный университет

Кафедра общей и технической физики

ФИЗИКА ЭЛЕКТРОСТАТИКА ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Методические указания и контрольные задания
для самостоятельной работы студентов
инженерно-технических специальностей всех форм обучения

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2011

УДК 537.1/2(073)

ФИЗИКА. Электростатика. Электродинамика: Методические указания и контрольные задания / Санкт-Петербургский государственный горный университет. Сост.: А.С. Мустафаев, И.И. Егорова, Н.И. Смирнова, Н.С. Пачеко. СПб, 2011. 32 с.

Даны методические указания и порядок изучения разделов для самостоятельной работы студентов инженерно-технических специальностей университета. Рабочая программа и варианты контрольных заданий разработаны в соответствии с требованиями к уровню подготовки выпускников вузов по направлению 550000 «Технические науки».

Табл. 3. Ил. 8. Библиогр.: 11 назв.

Научный редактор проф. А.С. Мустафаев

© Санкт-Петербургский государственный
горный университет, 2011

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ С УЧЕБНЫМИ ПОСОБИЯМИ

Основой обучения студента является самостоятельная работа с рекомендованными учебниками и учебными пособиями. Для успешного освоения курса общей физики необходимо выполнять следующие рекомендации:

1. Занятия по курсу общей физики проводить по рабочей программе последовательно, а главное - систематически.
2. Изучив раздел курса, выполнить контрольную работу по этому разделу.
3. Составить краткий конспект раздела курса, в котором выписать основные законы, определения физических величин и единицы их измерения.

2. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА КУРСА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Закон сохранения электрического заряда. Электрическое поле. Основные характеристики электростатического поля: напряженность и потенциал. Напряженность как градиент потенциала. Расчет электростатических полей методом суперпозиции. Поток вектора напряженности. Теорема Остроградского - Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Остроградского - Гаусса к расчету поля. Электрическое поле в веществе. Свободные и связанные заряды в диэлектриках. Типы диэлектриков. Электронная и ориентационная поляризация. Полярность. Диэлектрическая восприимчивость вещества. Электрическое смещение. Диэлектрическая проницаемость среды. Вычисление напряженности поля в диэлектрике. Сегнетоэлектрики.

Проводники в электрическом поле. Поле внутри проводника и у его поверхности. Распределение зарядов в проводнике. Емкость уединенного проводника. Взаимная емкость двух проводников. Конденсаторы. Энергия заряженных проводника, конденсатора и системы проводников. Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Постоянный электрический ток, его характеристики и условия существования. Классическая электронная теория электропроводности металлов и ее опытные обоснования. Вывод закона Ома в дифференциальной форме из электронных представлений. Закон Видемана - Франца. Закон Ома в интегральной форме. Разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение. Затруднения классической теории электропроводности металлов. Границы применимости закона Ома. Плазма. Работа выхода электронов из металла. Термоэлектронная эмиссия. Ток в газах.

3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

ОСНОВНАЯ

- Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Академия, 2008.
Детлаф А.А., Яворский Е.М. Курс физики. - М.: Академия, 2009.
Яворский Е.М., Писский А.А. Основы физики. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - Т.2.
Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. - СПб, М., Краснодар.: Лань, 2007.-Т.2.
Савельев И.В. Курс общей физики. -М.: КноРус, 2009.- Т. 2.
Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. - СПб.: Профессия, 2010.
Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

- Сивухин Д.В. Общий курс физики. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.- Т. 3.
Калашиников С.Г. Электричество. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. - СПб, М., Краснодар.: Лань, 2010.
Сена Л.А. Единицы физических величин и их размерности. -М.: Наука, 1988.

4

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

К выполнению контрольной работы по разделу курса студент приступает после самостоятельного изучения соответствующего раздела с использованием рекомендованных пособий.

В процессе изучения разделов "Электростатика" и "Постоянный электрический ток" курса общей физики студент должен выполнить контрольную работу №3. Для студентов-заочников номер варианта контрольной работы, которую необходимо выполнить, определяется по последней цифре индивидуального шифра студента.

При выполнении каждой контрольной работы студент должен:

1. Решить восемь задач в соответствии со своим вариантом.
2. Контрольная работа выполняется в обычной школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения согласно следующему образцу:

Студент Горного факультета Санкт-Петербургского Государственного Горного института (технического университета) Николаев И.И. Шифр 44541 Адрес: г. Мурманск ул. Ленина 4 кв. 6 Контрольная работа по физике № 3

3. Контрольная работа выполняется чернилами. Для замечаний рецензента справа оставляются поля (3 см). Каждая задача начинается с новой страницы. Условие задачи переписывается полностью без сокращений.
4. Решения задач должны сопровождаться краткими пояснениями и ссылками на основные законы физики.
5. В конце контрольной работы необходимо привести список учебников и учебных пособий, которыми пользовался студент-заочник при решении.

5

6. Выполненные контрольные работы студент-заочник должен либо выслать по почте, либо лично передать в деканат заочного отделения института в сроки, указанные в учебном плане.
7. После получения рецензии на контрольную работу студент обязан выполнить указания рецензента.
8. Если контрольная работа не зачтена, студент должен заново решить те задачи, по которым были получены ошибочные результаты, и представить контрольную работу на повторное рецензирование. Повторная контрольная работа представляется совместно с незаченной.
9. Зачтенные контрольные работы предъявляются экзаменатору и до экзамена студент-заочник должен дать пояснения по существу решенных задач.

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Для выполнения контрольной работы студент должен:

1. Усвоить соответствующий раздел курса, пользуясь рекомендованными учебниками и учебными пособиями. Главное внимание обратить на основные физические законы и соотношения.
2. Выполнить решение задач в общем виде, т.е. в буквенных обозначениях. При выводе формулы для искомой величины не проводить промежуточных численных расчетов.
3. При необходимости графического пояснения содержания задачи выполнить чертеж с помощью чертежных принадлежностей.
4. Решение задачи сопровождать краткими пояснениями и ссылками на основные физические законы.
5. Перед проведением численного расчета искомой величины выполнить проверку размерности результата. Убедиться в том, что размерности левой и правой частей окончательной формулы одинаковы. Если такого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.
6. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах СИ. В виде исключения допускается выражать в любых, но одинаковых

6

единицах числовые значения однородных величин, стоящих в числителе и знаменателе дроби и имеющих одинаковые степени.

7. Провести вычисление искомой величины. При необходимости - использовать справочные данные, приведенные в настоящем пособии. Окончательный численный результат представить в нормализованном виде, т.е. в виде произведения десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти (например, вместо 1260 необходимо записать $1,26 \cdot 10^3$). Ответ должен содержать наименование физической величины, ее численное значение и размерность.

6 УЧЕБНЫЕ МАТЕРИАЛЫ К РАЗДЕЛАМ ЭЛЕКТРОСТАТИКА, ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

6.1 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ В ВАКУУМЕ

Закон Кулона: два точечных заряда q_1 и q_2 , находящиеся на расстоянии r , взаимодействуют с силой

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^3} \vec{r},$$

где \vec{r} - радиус-вектор, направленный вдоль линии, соединяющей заряды, ϵ_0 - электрическая постоянная.

Напряженность электрического поля

$$\vec{E} = \vec{F} / q,$$

где \vec{F} - сила, с которой поле действует на помещенный в данную точку пробный точечный заряд q .

Поток вектора напряженности \vec{E} сквозь поверхность S

$$N = \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \oint_S E_n dS,$$

7

где E_n - проекция вектора \vec{E} на направление положительной нормали к элементу площади dS .

Теорема Гаусса: поток вектора \vec{E} через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри этой поверхности зарядов, деленной на ϵ_0 , т.е.

$$\oint_S E_n dS = \frac{1}{\epsilon_0} \sum_{i=1}^n q_i,$$

если поверхность не охватывает ни одного заряда, то $\oint_S E_n dS = 0$.

Модуль напряженности электрического поля, созданного точечным зарядом q на расстоянии r от него,

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}.$$

Модуль напряженности поля диполя в точке, находящейся на расстоянии $r \gg l$ от диполя (l - плечо диполя),

$$E = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{p}{r^3} \sqrt{1 + 3 \cos^2 \varphi},$$

где $p = ql$ - электрический момент диполя, φ - угол между осью диполя и радиус-вектором, проведенным из центра диполя в данную точку.

Выражения для модулей напряженности электрических полей симметричных объектов имеют вид:

- Напряженность поля равномерно заряженной сферической поверхности в точках, лежащих вне и внутри сферы на расстоянии r от ее центра

$$E_{\text{внеш}} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r^2}, \quad E_{\text{внутр}} = 0.$$

8

- Напряженность поля бесконечно длинной равномерно заряженной нити или бесконечно длинной равномерно заряженной цилиндрической поверхности в точках, расположенных вне ее,

$$E = \tau / (2\pi \epsilon_0 a),$$

где a - расстояние точки от нити (оси цилиндра), τ - линейная плотность заряда, численно равная заряду, приходящемуся на единицу длины нити или цилиндра, т.е.

$$\tau = dq / dl.$$

- Напряженность поля бесконечной равномерно заряженной плоскости

$$E = \sigma / (2\epsilon_0),$$

где σ - поверхностная плотность заряда, численно равная заряду, приходящемуся на единицу площади заряженной поверхности, т.е.

$$\sigma = dq / dS.$$

- Напряженность поля двух бесконечных, параллельных плоскостей, равномерно заряженных с поверхностной плотностью заряда $+\sigma$ и $-\sigma$ (поле плоского конденсатора) в точках, расположенных между плоскостями и вне их, соответственно

$$E_{\text{внутр}} = \sigma / \epsilon_0, \quad E_{\text{внеш}} = 0.$$

6.2 РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ. ПРОВОДНИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов, находящихся на расстоянии r

9

$$W_p = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}.$$

Потенциал электрического поля

$$\varphi = W_p / q',$$

где W_p - потенциальная энергия пробного заряда q' , помещенного в данную точку поля.

Работа, совершенная силами поля по перемещению положительного заряда q из точки 1 в точку 2:

$$A = -\Delta W_p = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

или

$$A = q \int_1^2 E_r dl,$$

где E_r - проекция вектора напряженности \vec{E} на направление $d\vec{l}$; при этом интегрирование производится вдоль любой линии, соединяющей точки 1 и 2.

Разность потенциалов и модуль напряженности электрического поля

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E_r dl, \quad E = -\frac{d\varphi}{dl},$$

где производная $d\varphi/dl$ берется в направлении быстрого изменения потенциала, т.е. вдоль силовой линии.

Для однородного поля ($\vec{E} = \text{const}$)

$$E = (\varphi_1 - \varphi_2) / l,$$

где l - расстояние между двумя точками, измеренное вдоль силовой линии.

Потенциал поля точечного заряда q на расстоянии r от него

10

$$\varphi = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r}.$$

Потенциал поля сферической поверхности радиуса r_0 , по которой равномерно распределен заряд q

- $\varphi = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r}$ - для точек, лежащих вне сферы на расстоянии r от ее центра,

- $\varphi = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{q}{r_0}$ - для точек, лежащих на поверхности сферы или внутри нее.

6.3 ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ. ЭНЕРГИЯ ПОЛЯ

Вектор поляризации \vec{P} измеряется суммарным электрическим моментом всех молекулярных диполей в единице объема диэлектрика. Для изотропного диэлектрика вектор \vec{P} пропорционален напряженности \vec{E} поля внутри него

$$\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E},$$

где χ - диэлектрическая восприимчивость диэлектрика.

Поверхностная плотность σ' связанных зарядов равна проекции вектора \vec{P} на внешнюю нормаль к поверхности диэлектрика $\sigma' = P_n$.

Для изотропного диэлектрика векторы электрического смещения (электрической индукции) \vec{D} и напряженности \vec{E} поля связаны между собой соотношением

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E},$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon = 1 + \chi$.

11

Теорема Гаусса: поток вектора \vec{D} через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме свободных зарядов q_i , охватываемых этой поверхностью

$$N = \oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S D_n dS = \sum_{i=1}^n q_i.$$

Емкость конденсатора определяется отношением его заряда к разности потенциалов (напряжению) на пластинах

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}.$$

Емкость плоского конденсатора

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 S / l,$$

где S - площадь его пластин, l - расстояние между пластинами, ε - диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей конденсатор.

Емкость батареи из n конденсаторов, соединенных параллельно,

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

Емкость батареи из n конденсаторов, соединенных последовательно,

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

Энергия заряженного конденсатора

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

Объемная плотность энергии электрического поля

$$w = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon \varepsilon_0}.$$

6.4 ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ СРЕД

Сила тока определяется количеством электричества, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени

$$I = dq/dt.$$

Плотность тока определяется силой тока, отнесенной к единице площади поперечного сечения проводника

$$j = dI/dS.$$

Если известны заряд носителя - q , концентрация носителей - n и средняя скорость их направленного движения - $\langle v \rangle$, то выражение для плотности тока принимает вид

$$j = qn\langle v \rangle.$$

Сопротивление проводника длиной l с площадью поперечного сечения S , $R = \rho l/S$, где ρ - удельное сопротивление материала проводника, $\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta t)$, ρ_0 - удельное сопротивление при 0°C , α - температурный коэффициент сопротивления.

Плотность тока и напряженность электрического поля в данной точке проводника связаны между собой законом Ома в дифференциальной форме

$$j = \sigma E,$$

где $\sigma = 1/\rho$ - удельная электропроводность проводника.

Закон Ома для участка однородной цепи (не содержащей источника э.д.с)

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R},$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ - разность потенциалов на концах участка, R - его сопротивление.

Закон Ома для участка неоднородной цепи, содержащей источник э.д.с - ξ и сопротивления - R_i

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \sum_{i=1}^m \xi_i}{\sum_{i=1}^n R_i}.$$

Закон Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{\sum_{i=1}^m \xi_i}{R_{\text{внеш}} + R_{\text{внутр}}},$$

где $R_{\text{внеш}}$, $R_{\text{внутр}}$ - полные сопротивления внешнего и внутреннего участков цепи.

Правила Кирхгофа для разветвленных цепей:

1. - алгебраическая сумма сил токов - I_i , сходящихся в любом узле (узел - соединение не менее трех проводников), равна нулю

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0;$$

2. - для любого замкнутого контура алгебраическая сумма произведений сил токов - I_i , на сопротивления соответствующих участков цепи - R_i , равна алгебраической сумме источников э.д.с. ξ_i , действующих в этом контуре

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^m \xi_i.$$

Общее сопротивление n участков при их параллельном и последовательном соединении соответственно

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

Работа электрических сил на участке цепи, на концах которого имеется разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$,

$$A = (\varphi_1 - \varphi_2)It.$$

Количество теплоты, выделенное на участке цепи сопротивлением R , по которому в течение времени t идет ток силой I , определяется законом Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R t.$$

Работа, совершенная источником электрической энергии за время t ,

$$A = \xi It = I^2 R_{\text{внут}} t = \frac{\xi^2}{R_{\text{внут}}} t,$$

где ξ - э.д.с. источника, $R_{\text{внут}}$ - полное сопротивление цепи.

Плотность тока в металле $j = en\langle v \rangle$, где e - заряд электрона, n - концентрация свободных электронов, $\langle v \rangle$ - средняя скорость их направленного движения.

Плотность тока в газе при отсутствии насыщения

$$j = qn(u_+ + u_-)E,$$

где q - абсолютное значение заряда каждого иона, n - концентрация пар ионов, u_+ , u_- - подвижности положительных и отрицательных ионов (подвижность численно равна средней скорости носителей заряда в поле единичной напряженности - $u = \langle v \rangle / E$), E - напряженность электрического поля в газе.

Плотность тока насыщения в газе между плоскими электродами, расстояние между которыми l , равна

$$j_H = q \frac{dn}{dt} l,$$

где dn - число пар ионов, образуемых ионизатором в единице объема газа.

Число пар ионов, рекомбинирующих в единице объема газа, пропорционально квадрату концентрации ионов

$$dn/dt = -\gamma n^2,$$

где γ - коэффициент рекомбинации.

Удельная электропроводность электролита

$$\sigma = qcn_0(u_+ + u_-),$$

где n_0 - концентрация молекул растворенного вещества, α - коэффициент диссоциации, равный отношению числа диссоциировавших молекул к их общему числу.

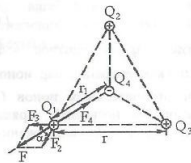
7. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ РЕШЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ ЗАДАЧИ

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?

Дано: СИ
 $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 1 \text{ нКл}$ $1 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$

Найти:
 Q_4 ?

Решение. Все три заряда, расположенные по вершинам треугольника, находятся в одинаковых условиях. Поэтому



16

$$Q_4 = 10^{-9} / \sqrt{3} \text{ Кл} = 5,77 \cdot 10^{-10} \text{ Кл} = 577 \text{ нКл}.$$

Отметим, что равновесие системы зарядов неустойчиво.

8. ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ №3

Вариант 1

- Два заряженных шарика, подвешенных на нитях одинаковой длины, опускаются в керосин плотностью $0,8 \text{ г/см}^3$. Какой должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был один и тот же? Диэлектрическая проницаемость керосина $\epsilon = 2$.
- Потенциал электростатического поля задан выражением

$$\varphi(x, y, z) = 20 \left[\left(\frac{x}{a} + 1 \right)^2 + \left(\frac{y}{b} - 1 \right)^2 + \left(\frac{z}{c} \right)^2 \right]^{-1/2}.$$

Определить напряженность электростатического поля в точке с координатами $x = y = z = 0,2 \text{ м}$, если $a = 0,2 \text{ м}$, $b = 0,1 \text{ м}$, $c = 0,3 \text{ м}$.

- Две частицы с массами m_1 и m_2 и с одноименными зарядами, соответственно, q_1 и q_2 движутся навстречу друг другу, имея вдалеке относительную скорость $v_{отн}$. На какое наименьшее расстояние сблизятся частицы?
- Поток электронов, получивших свою скорость под действием напряжения 5000 В , влетает в середину между пластинами плоского конденсатора параллельно пластинам. Длина пластины 10 см , расстояние между пластинами 1 см . Какое наименьшее напряжение нужно приложить к конденсатору, чтобы электроны не вылетали из него?
- Плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов 300 В и отключен от источника. Расстояние между пластинами $0,5 \text{ см}$, площадь пластин 400 см^2 . Пластины раздвигаются до расстояния $2,5 \text{ см}$. Определить объемную

18

достаточно выяснить, какой заряд следует поместить в центре треугольника, чтобы какой-нибудь один из трех зарядов, например Q_1 , находился в равновесии. Заряд Q_4 будет находиться в равновесии, если векторная сумма действующих на него сил равна нулю

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

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 вдоль 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 имея в виду, что $Q_2 = Q_3 = Q_1$ найдем

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

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, что

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

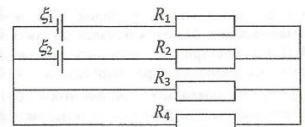
С учетом этой формула (2) примет вид

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

Произведем вычисления

17

плотность энергии поля конденсатора до и после раздвижения пластин, а также работу раздвижения пластин.



6. Определить силы токов, проходящих через каждое сопротивление.

$R_1 = R_4 = 2 \text{ м}$, $R_2 = R_3 = 4 \text{ Ом}$, $\xi_1 = 10 \text{ В}$, $\xi_2 = 4 \text{ В}$ (см. рис.). Сопротивлением источников пренебречь.

7. Через какой промежуток времени после прекращения действия ионизатора число пар ионов вследствие рекомбинации уменьшится втрое, если первоначальная концентрация пар ионов была $n_0 = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}$. Коэффициент рекомбинации $\gamma = 1,67 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.

8. По медному проводнику диаметром 2 мм течет ток силой 20 А . Определить среднюю скорость направленного движения электронов, считая, что концентрация свободных электронов равна концентрации атомов.

Вариант 2

1. Одинаковые заряды q расположены в вершинах пятиугольника. Какой заряд надо поместить в центре этого пятиугольника, чтобы вся система зарядов оказалась в равновесии? Будет ли устойчивым это равновесие?

2. Потенциал электростатического поля задан выражением

$$\varphi(x, y, z) = 50 \ln \left[\left(\frac{x}{a} - 1 \right)^2 + \left(\frac{z}{a} + 2 \right)^2 \right] - 40y.$$

Определить напряженность электростатического поля в точке с координатами $x = y = z = 0,2 \text{ м}$, если $a = 0,1 \text{ м}$.

3. К обкладкам плоского воздушного конденсатора приложена разность потенциалов $U_1 = 1 \text{ кВ}$. Площадь обкладок $S = 250 \text{ см}^2$, расстояние между ними $d_1 = 1 \text{ мм}$. Обкладки раздвинули до расстояния $d_2 = 3 \text{ мм}$. Определите энергию W_1 и W_2 конденсатора до

19

и после раздвижения обкладок, если источник напряжения перед раздвижением: 1) не отключался; 2) отключался.

4. Поток электронов, имеющих энергию 200 эВ, влетает в поле плоского конденсатора параллельно его пластинам. Плотность заряда на обкладках конденсатора $5 \cdot 10^{-11}$ Кл/см². Определить смещение электронов вдоль направления поля за 10^{-8} с движения в конденсаторе и их скорость.

5. Пластины плоского конденсатора имеют площадь 100 см². Расстояние между пластинами 0,5 мм. Диэлектрик - стекло ($\epsilon = 7$). Поверхностная плотность заряда на обкладках 10^{-10} Кл/см². Определить работу, необходимую для удаления диэлектрика из конденсатора и объемную плотность энергии поля до и после удаления диэлектрика.

6. В цепь, состоящую из источника ЭДС и резистора сопротивлением $R = 10$ Ом, включают вольтметр, сопротивление которого $R_v = 500$ Ом, один раз последовательно резистору, другой раз - параллельно. Определите внутреннее сопротивление источника, если показания вольтметра в обоих случаях одинаковы.

7. Медный и алюминиевый провода равной длины имеют одинаковые сопротивления. Определить отношения диаметров этих проводов. Вычислить, во сколько раз масса алюминиевого провода меньше массы медного провода.

8. В атмосферном воздухе у поверхности Земли вследствие радиоактивности почвы и ионизации космическими лучами в среднем образуется 5 ионов в 1 см³ в одну секунду. Найти ток насыщения, текущий в плоском воздушном конденсаторе, в результате этой ионизации. Площадь обкладок конденсатора 100 см², расстояние между обкладками 3 см.

Вариант 3

1. Заряженная капля масла радиусом $r = 1,0 \cdot 10^{-3}$ мм находится в равновесии между горизонтально расположенными пластинами плоского конденсатора, напряженность поля которого $E = 7,85$ кВ/м. Приняв плотность масла $\rho = 900$ кг/м³, определить заряд капли.

20

Вариант 4

1. Две непроводящие сферы радиусами $R_1 = 3$ см и $R_2 = 2$ см расположены в вакууме и несут равномерно распределенные по их поверхностям заряды $q_1 = 1,0 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_2 = -2,0 \cdot 10^{-9}$ Кл. Расстояние между центрами сфер $r = 10$ см. Определить напряженность поля, созданного зарядами q_1 и q_2 в точке А, удаленной от центров обеих сфер соответственно на расстояния r_1 и r_2 . Решить задачу для двух случаев: а) $r_1 = 9$ см, $r_2 = 7$ см; б) $r_1 = 2$ см; $r_2 = 8$ см.

2. Электрический диполь образован зарядами $q_1 = 10^{-9}$ Кл и $q_2 = -10^{-9}$ Кл, расположенными на расстоянии 2 см в воздухе. Определить напряженность и потенциал поля в точках на перпендикуляре, восстановленном из середины диполя, на расстоянии 2 см и 30 см от диполя.

3. Какую работу надо совершить, чтобы извлечь проводящую пластину, расположенную между двумя заземленными пластинами параллельно им, наполовину? Заряд пластины Q . Все пластины имеют площадь S . Перемещаемая пластина удалена от заземленных пластин на расстояния a и b .

4. Поток электронов движется к заряженному шару радиусом 1 см в радиальном направлении. Какую линейную скорость должен иметь электрон на расстоянии 1 м от центра шара, чтобы достичь его поверхности, если поверхностная плотность заряда на шаре $\sigma = -10^{-10}$ Кл/м²? Определить ускорение электронов на расстоянии 0,5 м от центра шара.

5. Цилиндрический конденсатор состоит из двух обкладок высотой 10 см и радиусами 2 см и 5 см, пространство между которыми заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 7. Конденсатор заряжен до напряжения 200 В. Определить энергию, заключенную между цилиндрическими поверхностями радиусами 3 см и 4 см. Цилиндрические поверхности и конденсатор имеют общую ось симметрии.

22

2. Электрический диполь образован зарядами $q_1 = 10^{-9}$ Кл и $q_2 = -10^{-9}$ Кл, расположенными на расстоянии 2 см в воздухе. Определить напряженность и потенциал поля в точках на оси диполя, на расстоянии 5 см и 30 см от его центра.

3. На расстоянии 1 м от поверхности проводящей сферы радиусом 10 см, заряженной до потенциала 20 кВ, находится точечный заряд 10 нКл. Какую работу надо совершить для уменьшения расстояния между сферой и зарядом до 10 см?

4. Электрон движется по направлению силовых линий однородного электрического поля напряженностью 1,2 В/см. Какое расстояние он пролетит в вакууме до полной потери скорости, если его начальная скорость 10^3 км/с? Сколько времени будет длиться этот полет?

5. Сферический конденсатор состоит из двух concentрических обкладок радиусами 10 см и 14 см, пространство между которыми заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 6. Конденсатор заряжен до напряжения 100 В. Определить энергию, заключенную между сферическими поверхностями радиусами 11 см и 13 см.

6. Какой заряд пройдет по проводнику сопротивлением $R = 1$ кОм при равномерном нарастании напряжения на его концах от $U_1 = 15$ В до $U_2 = 25$ В в течение $t = 20$ с?

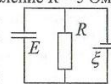
7. В схеме (см. рисунок) $\xi_1 = \xi_2 = \xi_3$, $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 12$ Ом, падение напряжения U_2 на сопротивлении R_2 равно 6 В. Пренебрегая внутренним сопротивлением источников ЭДС, определите: 1) силу тока на всех участках цепи; 2) сопротивление R_3 .



8. Между плоскими электродами площадью 100 см² каждый, находящимися на расстоянии 5 см друг от друга, создана ионизация воздуха рентгеновскими лучами и наблюдается ток насыщения 100 нА. Определить число пар ионов, создаваемых ионизатором в 1 см³ в течение одной секунды, а также концентрацию этих пар в установившемся состоянии. Считать ионы однозарядными.

21

6. В схеме (см. рисунок) напряженность электростатического поля в плоском конденсаторе $E = 2$ кВ/м, внешнее сопротивление $R = 5$ Ом, внутреннее сопротивление источника ЭДС $r = 1$ Ом, расстояние между обкладками конденсатора $d = 0,1$ см. Определите ЭДС источника тока.



7. Вольфрамовая нить электрической лампочки при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ имеет сопротивление $R_1 = 35,8$ Ом. Какова будет температура t_2 нити лампочки, если при включении в сеть напряжением $U = 240$ В по нити идет ток $I = 0,66$ А? Температурный коэффициент сопротивления вольфрама $\alpha = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

8. Ток насыщения при несамостоятельном разряде равен 8,4 пА. Найдите число пар ионов, создаваемых за 1 минуту внешним ионизатором.

Вариант 5

1. Две бесконечно длинные нити, расстояние между которыми $r = 5$ см, одинаково равномерно заряжены с линейной плотностью заряда $\tau = 1,00 \cdot 10^{-8}$ Кл/м. Найти максимальное значение E_{max} напряженности электрического поля для точек, принадлежащих плоскости симметрии нитей.

2. Потенциал электростатического поля задан выражением

$$\varphi(x, y, z) = -20 \ln \frac{b^2 + c^2}{(x+b)^2 + (y-c)^2} + 50z,$$

где $b = c = 0,1$ м. Определить напряженность поля в точке с координатами $x = y = 0,2$ м, $z = 0,1$ м.

3. Металлический шар радиуса $r = 5$ см, несущий заряд $q = 2$ нКл, покрыт слоем диэлектрика толщиной $a = 1$ см с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 6$. Найти напряженности электрического поля E_1 и E_2 в точках, удаленных от центра шара, соответственно, на $r_1 = 5,5$ см и $r_2 = 7,0$ см, а также поверхностную

23

плотность σ' связанных зарядов на внешней поверхности диэлектрика.

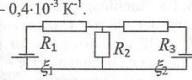
4. Электрон движется в радиальном направлении к заряженному цилиндру радиусом 1 см. Какую минимальную скорость должны иметь электроны на расстоянии 1 м от оси цилиндра, чтобы достичь его поверхности, если линейная плотность заряда равна -10^{-10} Кл/м? Определить ускорение электрона на расстоянии 0,5 м от оси цилиндра.
5. Плоский конденсатор заряжен до разности потенциалов 300 В и отключен от источника. Расстояние между пластинами 5 мм, их площадь 300 см². Определить заряд и энергию конденсатора, если при извлечении диэлектрика из конденсатора его энергия увеличивается в 8 раз.
6. Сила тока в электроплитке, подключенной к сети напряжением $U = 220$ В, за время 40 с равномерно падает от $I_1 = 6$ А до $I_2 = 5,6$ А. Определить количество теплоты, выделившееся за это время в электроплитке.
7. Определить э.д.с. и внутреннее сопротивление гальванического элемента, если при замыкании на сопротивление $R_1 = 1,8$ Ом он дает ток $I_1 = 0,7$ А, а при замыкании на сопротивление $R_2 = 2,3$ Ом - ток $I_2 = 0,56$ А. Чему будет равен ток I_0 короткого замыкания?
8. К медной проволоке длиной 5 м и радиусом 0,38 мм приложено напряжение 40 мВ. Сколько электронов пройдет через поперечное сечение проводника за 1 час.

Вариант 6

1. Два соосных диска одинакового радиуса $r = 10$ см заряжены равномерно с поверхностными плотностями зарядов, равными $\sigma_1 = 5,0$ мкКл/м² и $\sigma_2 = 0,35$ мкКл/м², и сближены до расстояния $d = 3,1$ мм. Определить силу электрического взаимодействия дисков, полагая, что они находятся в вакууме.
2. Потенциал электростатического поля задан выражением

$$\varphi(x, y, z) = -100x + 200 \ln \frac{(y-a)^2 + (z-b)^2}{a^2 + b^2},$$

где $a = 0,1$ м, $b = 0,2$ м. Определить напряженность электростатического поля в точке с координатами $x = y = 0,2$ м, $z = 0,1$ м.

3. Плоский конденсатор, в котором диэлектриком служит слюда ($\epsilon = 7,5$), а расстояние между пластинами $d = 1$ мм, находится под напряжением $U = 1000$ В. Определить плотность энергии электрического поля конденсатора.
4. Узкий пучок электронов, обладающих энергией 1,6 кэВ, проходит в вакууме посередине между пластинами плоского конденсатора. Какое напряжение необходимо подвести к пластинам, чтобы электроны не вышли за пределы пластин? Длина пластин $b = 2$ см, а расстояние между ними $d = 1$ см.
5. Определите поверхностную плотность зарядов на пластинах плоского слюдяного конденсатора ($\epsilon = 7$) емкостью $C = 150$ пФ, находящегося под напряжением $U = 200$ В. Обкладки конденсатора имеют форму квадрата со стороной $d = 2$ см.
6. Электрическая плитка предназначена для эксплуатации в сети с напряжением 220 В. Какую длину должна иметь нихромовая проволока диаметром 0,7 мм для изготовления спирали, чтобы обеспечить мощность плитки 2 кВт при рабочей температуре 800 °С? Удельное сопротивление нихрома при температуре 800 °С 1 мОм·м, температурный коэффициент $-0,4 \cdot 10^{-3}$ К⁻¹.
7. Определить силу тока в сопротивлении R_3 и напряжение на концах этого сопротивления (см. рис.).

 $\xi_1 = 4$ В, $\xi_2 = 3$ В, $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 6$ Ом.
8. В ионизационной камере, расстояние между плоскими электродами которой равно 10 см, проходит ток насыщения плотностью 20 мкА/м². Определить число пар ионов, образующихся в каждом кубическом миллиметре объема камеры за 1 с.

Вариант 7

1. Точечный заряд q помещен в центр уединенной проводящей сферической оболочки через небольшое отверстие. Полагая внутренний и внешний радиусы оболочки равными r_1 и r_2 , определить минимальную работу A , которую надо совершить, чтобы вывести заряд наружу и удалить в бесконечность.
2. Принимая Землю за проводящий шар радиуса $R = 6400$ км, определить заряд q и потенциал φ Земли, если напряженность электрического поля около ее поверхности $E = 100$ В/м.
3. Какой энергией обладало бы электрическое поле медного шарика радиусом $r = 1$ см, если бы из каждого его атома удалили по одному электрону?
4. Определить величину отклонения луча на экране электронного осциллографа, если ускоряющее напряжение $U_a = 1000$ В, напряжение на отклоняющих пластинах $U = 150$ В, их длина $b = 4$ см, расстояние между ними $d = 1$ см, а расстояние от отклоняющих пластин до экрана $l = 15$ см.
5. Плоский конденсатор заполнен двумя слоями диэлектрика: парафином ($\epsilon_1 = 2$) и стеклом ($\epsilon_2 = 7$). Расстояние между пластинами конденсатора 6 см, разность потенциалов 500 В. Толщина слоев диэлектриков одинакова. Определить напряженность поля и электрическое смещение в каждом слое.
6. На цилиндрический каркас с внешним радиусом $R = 1$ см катушки системы зажигания намотан медный провод диаметром $d_n = 0,12$ мм виток к витку. Намотка состоит из $m = 50$ слоев. Каждый слой содержит $n = 200$ витков. Слои прилегают плотно друг к другу. Определить сопротивление катушки, если диаметр металлической части провода составляет $d_n = 0,08$ мм.
7. Элемент, амперметр и некоторое сопротивление соединены последовательно. Если взять сопротивление из медной проволоки длиной $l = 100$ м и поперечным сечением $S = 2$ мм², то амперметр показывает ток $I_1 = 1,43$ А. Если же взять сопротивление из алюминиевой проволоки длиной $l = 57,3$ м и поперечным сечением $S = 1$ мм², то

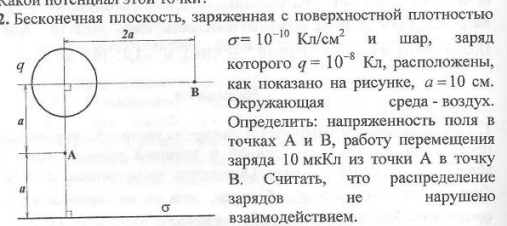


амперметр показывает ток $I_1 = I$ А. Сопротивление амперметра $R_A = 0,05$ Ом. Найти ЭДС элемента и его внутреннее сопротивление r .

8. Первоначальная концентрация пар ионов в воздухе, ионизированном рентгеновскими лучами, $n_0 = 2 \cdot 10^6$ см⁻³. Через какой промежуток времени после прекращения действия излучения число пар ионов уменьшится в 10 раз? Коэффициент рекомбинации $\gamma = 1,67 \cdot 10^{-6}$ см³·с⁻¹.

Вариант 8

1. Два точечных заряда 10^{-9} Кл и $2 \cdot 10^{-9}$ Кл расположены на расстоянии 40 см друг от друга. На каком расстоянии от первого заряда находится точка, в которой напряженность поля равна нулю? Какой потенциал этой точки?



3. Протон, двигаясь от положительно заряженной бесконечной нити вдоль линии напряженности от расстояния $r_1 = 1$ см до $r_2 = 5$ см, изменил свою скорость от 10^6 до 10^7 м/с. Определите линейную плотность заряда нити.
4. В алюминиевом проводнике длиной $l = 5$ м и диаметром $d = 0,8$ мм течет ток. При этом выделяется теплота мощностью $W = 0,2$ Вт. Сколько электронов n пройдет за сутки через поперечное сечение этого проводника?

5. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 4. Расстояние между пластинами конденсатора 5 мм, разность потенциалов 4 кВ, площадь пластин 200 см^2 . Определить: поверхностную плотность заряда на пластинах и на диэлектрике, работу поляризации диэлектрика.
6. Полушарический заземлитель погружен в землю вровень с ее поверхностью. Найти разность потенциалов шага, если длина шага 1 м, расстояние от ближайшей к заземлителю ноги человека до заземлителя 2 м. Удельное сопротивление грунта $10^2 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, сила тока, протекающего через заземлитель 0,5 А.
7. Э.д.с. батареи $\xi = 12 \text{ В}$. Наибольшая сила тока, которую может дать батарея, $I_{\text{макс}} = 5,0 \text{ А}$. Какая наибольшая мощность $P_{\text{макс}}$ может выделяться на подключенном к батарее резисторе с переменным сопротивлением?
8. Какова концентрация одновалентных ионов в воздухе, если при напряженности поля $E = 34 \text{ В/м}$ плотность тока $j = 2 \cdot 10^{-6} \text{ А/м}^2$. Подвижности ионов $u_+ = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, $u_- = 1,91 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 9

1. Точечный заряд q находится в центре уединенной сферической проводящей оболочки, внутренний и внешний радиусы которой равны r_1 и r_2 , соответственно. Определить ее потенциал ϕ . Чему будет равен потенциал ϕ' оболочки, если ее на короткое время соединить с Землей? Потенциал Земли принять равным нулю.
2. Потенциал электростатического поля задан выражением

$$\phi(x, y, z) = \frac{10}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2}}, \text{ где}$$

$a = b = c = 0,1 \text{ м}$. Определить напряженность электростатического поля в точке с координатами $x = 0,2 \text{ м}$, $y = -0,2 \text{ м}$, $z = 0,1 \text{ м}$.

3. Тонкое кольцо радиуса R несет заряд, равномерно распределенный с линейной плотностью τ . Найти потенциал ϕ и

28

напряженность E электрического поля на оси кольца как функции расстояния h от центра кольца.

4. Какую скорость приобретает α -частица, пройдя ускоряющую разность потенциалов 100 кВ?

5. Во сколько раз изменится емкость и плотность энергии плоского вакуумного конденсатора, если пространство между его пластинами заполнить веществом с диэлектрической проницаемостью ϵ ?

6. От трансформаторной подстанции с э.д.с. равной 220 В и внутренним сопротивлением 0,1 Ом необходимо протянуть в шахту двухпроводную линию длиной 200 м. Какая масса меди пойдет на изготовление подводящих проводов, если максимальная потребляемая мощность 20 кВт? Падение напряжения на нагрузке не должно быть ниже 200 В.

7. При включении в сеть электроплитки с номинальной мощностью $P_0 = 700 \text{ Вт}$ разность потенциалов на клеммах розетки уменьшилась, а фактическая мощность электроплитки стала $P_1 = 580 \text{ Вт}$. Какова мощность двух таких плиток, включенных параллельно в розетку? Изменением сопротивления плиток при изменении их накала пренебречь.

8. К пластинам плоского конденсатора приложено напряжение $U = 500 \text{ В}$. Гальванометр, включенный в цепь конденсатора, показывает ток силой $I = 18 \text{ нА}$, возникающий вследствие ионизации воздуха между пластинами рентгеновским излучением, причем насыщение не имеет места. Определить концентрацию пар ионов n , если площадь каждой пластины $S = 200 \text{ см}^2$, а расстояние между пластинами $d = 4 \text{ см}$. Заряд каждого иона воздуха равен элементарному. Подвижности ионов: $u_+ = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ и $u_- = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

Вариант 10

1. Два точечных заряда 10^9 Кл и $2 \cdot 10^9 \text{ Кл}$ находятся на расстоянии 30 см друг от друга. На каком расстоянии от первого заряда на прямой, проходящей через заряды, находится точка, в которой потенциал равен нулю? Какова напряженность поля в этой точке?

29

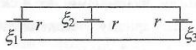
2. Электрон с начальной энергией $W = 500 \text{ эВ}$ движется издалека в вакууме по направлению к центру равномерно заряженной сферы радиуса $R = 6 \text{ см}$. Полагая заряд сферы $q = -5 \text{ нКл}$, определить минимальное расстояние r , на которое приблизится электрон к поверхности сферы.

3. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено парафином ($\epsilon = 2$). Расстояние между пластинами 10 мм. Какое напряжение необходимо подать на пластины, чтобы поверхностная плотность связанных зарядов составила 1 нКл/см²?

4. Две концентрические сферические поверхности, находящиеся в вакууме, заряжены одинаковым количеством электричества $q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$. Радиусы этих поверхностей R_1 и R_2 . Найти энергию электрического поля, заключенного между этими сферами.

5. Три точечных заряда q_A, q_B, q_C находятся в вершинах треугольника ABC: $q_A = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$, $q_B = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$, $q_C = -6 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$, $AB = 0,3 \text{ м}$, $BC = 0,5 \text{ м}$, $AC = 0,6 \text{ м}$. Определить работу, которую нужно совершить, чтобы развести эти заряды на такое расстояние, чтобы силы их взаимодействия можно было считать равными нулю. Заряды находятся в керосине.

6. Металлический диск вращается вокруг оси, проходящей через центр тяжести перпендикулярно плоскости диска, с угловой скоростью $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$. Радиус диска $R = 10 \text{ см}$. Какая разность потенциалов должна возникнуть между центром и краем диска?

7. Три батареи с э.д.с. и внутренними сопротивлениями $\xi_1 = 12 \text{ В}$, $\xi_2 = 5 \text{ В}$, $\xi_3 = 10 \text{ В}$ и $r_1 = r_2 = r_3 = 1 \text{ Ом}$, соответственно, соединены между собой  одноименными полюсами.

Определите силу токов, текущих через батареи.

8. Средняя напряженность электрического поля Земли составляет 130 В/м. Определить плотность тока проводимости в атмосфере, если концентрация пар ионов в воздухе $n = 7 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$. Подвижности ионов воздуха: $u_+ = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$, $u_- = 1,91 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

30

9. СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 1

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ПОСТОЯННЫЕ

Физическая величина	Численное значение
Авогадро постоянная	$N_A = 6,022169(40) \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Атомная единица массы	1 а.е.м. = $1,660531(11) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Заряд элементарный	$e = 1,6021917(70) \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Заряд удельный электрона	$e/m_e = 1,7588028(54) \cdot 10^{11} \text{ Кл}\cdot\text{кг}^{-1}$
Масса покоя протона	$m_p = 1,672614(11) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя электрона	$m_e = 9,109558(54) \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Ускорение силы тяжести стандартное (ускорение свободного падения)	$g = 9,80665 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$ (точно)
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}\cdot\text{м}^{-1}$

Таблица 2

МНОЖИТЕЛИ, ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ, КРАТНЫХ ЕДИНИЦ

Множитель	Приставка		Пример
	Наименование	Обозначение	
10^{12}	Тера	T	Терагерц - ТГц
10^9	Гига	G	Гигаом - ГОм
10^6	Мега	M	Мегаджоуль - МДж
10^3	Кило	k	Килограмм - кг
10^2	Деци	d	Дециметр - дм
10^{-1}	Санти	c	Сантиметр - см
10^{-3}	Милли	m	Милливольт - мВ
10^{-6}	Микро	mk	Микроампер - мкА
10^{-9}	Нано	n	Нанокулон - нКл
10^{-12}	Пико	p	Пикофарада - пФ

Таблица 3

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Металл	Алюминий	Железо	Медь
Относительная атомная масса, а.е.м.	26,98154	55,847	63,546
Плотность, кг·м ⁻³	$2,7 \cdot 10^3$	$7,87 \cdot 10^3$	$8,92 \cdot 10^3$
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	0,0265	0,097	0,0168

31