

ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК

Задания по физике для самостоятельной работы студентов

Дарибазарон Э.Ч., Санеев Э.Л., Шагдаров В.Б.

Министерство образования РФ

ВОСТОЧНО-СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ
ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

РАЗДЕЛ: "ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОСТОЯННЫЙ ТОК"

Редактор Т.Ю.Артюнина

Подготовлено в печать 2001 г. Формат 60×80 1/16

Усл.п.л. 3,72; уч.-изд.л. 3,2; Тираж 150 экз.

РИО ВСГТУ, Улан-Удэ, Ключевская, 40а

Отпечатано на ротапринте ВСГТУ, Улан-Удэ,
Ключевская, 42.

© Восточно-Сибирский государственный
технологический университет

Составители: Дарибазарон Э.Ч.,
Санеев Э.Л.,
Шагдаров В.Б.

Улан-Удэ 2001

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Электростатика

1. Закон Кулона:

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2},$$

где F - сила взаимодействия точечных зарядов Q_1 и Q_2 :

r - расстояние между зарядами; ϵ - диэлектрическая проницаемость, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - электрическая постоянная.

2. Напряженность электрического поля и потенциал:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q}; \quad \varphi = \frac{\Pi}{Q},$$

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

3. Сила, действующая на точечный заряд, находящийся в электрическом поле, и потенциальная энергия этого заряда:

$$\vec{F} = Q \cdot \vec{E}; \quad \Pi = Q \cdot \varphi$$

4. Напряженность и потенциал поля, создаваемого системой точечных зарядов (принцип суперпозиции электрических полей):

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i; \quad \varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i$$

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

5. Напряженность и потенциал поля, создаваемого точечным зарядом:

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}; \quad \varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r},$$

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

6. Напряженность и потенциал поля, создаваемого проводящей заряженной сферой радиуса R на расстоянии r от центра сферы:

а) если $r < R$, то $E = 0$; $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot R}$;

б) если $r = R$, то $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot R^2}$; $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot R}$;

в) если $r > R$, то $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$; $\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0\epsilon \cdot r}$,

где Q - заряд сферы.

7. Линейная плотность заряда (заряд, приходящийся на единицу длины заряженного тела):

$$\tau = \frac{Q}{l},$$

8. Поверхностная плотность заряда (заряд, приходящийся на единицу площади поверхности заряженного тела):

$$\sigma = \frac{Q}{S}.$$

9. Напряженность и потенциал поля, создаваемого распределенными зарядами. Если заряд равномерно распределен вдоль линии с линейной плотностью τ , то на линии выделяется малый участок длины dl с зарядом $dQ = \tau \cdot dl$. Такой заряд можно рассматривать как точечный. Напряженность и потенциал ($d\vec{E}$, $d\varphi$) электрического поля, создаваемого зарядом dQ , определяется формулами:

$$d\vec{E} = \frac{\tau \cdot dl}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \varepsilon \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}; \quad d\varphi = \frac{\tau \cdot dl}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \varepsilon \cdot r},$$

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

Используя принцип суперпозиции электрических полей, находим интегрированием напряженность \vec{E} и, потенциал φ поля, создаваемого распределенным зарядом:

$$E = \frac{\tau}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \varepsilon} \int \frac{dl}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r};$$

$$\varphi = \frac{\tau}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \varepsilon} \int \frac{dl}{r}.$$

Интегрирование ведется вдоль всей длины l заряженной линии (см. пример 6).

10. Напряженность поля, создаваемого бесконечной прямой равномерно заряженной линией или бесконечно длинным цилиндром:

$$E = \frac{\tau}{2\pi \cdot \varepsilon_0 \varepsilon \cdot r},$$

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

11. Напряженность поля, создаваемого бесконечной равномерно заряженной плоскостью:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon \cdot \varepsilon_0}.$$

12. Связь потенциала с напряженностью:

а) в общем случае:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi, \quad \text{или} \quad \vec{E} = -\left(\vec{i} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial \varphi}{\partial z}\right)$$

б) в случае однородного поля:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d};$$

в) в случае поля, обладающего центральной или осевой симметрией:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}.$$

13. Электрический момент диполя:

$$\vec{p} = |Q|\vec{l},$$

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

14. Работа сил поля по перемещению заряда Q из точки поля с потенциалом φ_1 , в точку с потенциалом φ_2 :

$$A_{12} = Q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

15. Емкость:

$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad \text{или} \quad C = \frac{Q}{U},$$

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

16. Емкость уединенной проводящей сферы радиуса R :

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

17. Емкость плоского конденсатора:

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

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

18. Емкость батареи конденсаторов:

а) при последовательности соединении

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i};$$

б) при параллельном соединении

$$C = \sum_{i=1}^N C_i,$$

где N - число конденсаторов в батарее.

19. Энергия заряженного конденсатора:

$$W = \frac{QU}{2}; \quad W = \frac{CU^2}{2}; \quad W = \frac{Q^2}{2C}.$$

Постоянный ток

20. Сила тока:

$$J = Q/t,$$

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

21. Плотность тока:

$$j = J/S,$$

где S - площадь поперечного сечения проводника.

22. Связь плотности тока со средней скоростью $\langle v \rangle$ направленного движения заряженных частиц:

$$j = e \cdot n \langle v \rangle,$$

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

23. Закон Ома:

а) для участка цепи, не содержащего э.д.с.:

$$J = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{r} = \frac{U}{r},$$

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

б) для участка цепи, содержащего э.д.с.:

$$J = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) \pm \varepsilon}{r},$$

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

в) для замкнутой (полной) цепи

$$J = \frac{\varepsilon}{r + r_i},$$

где r - внешнее сопротивление цепи, r_i - внутреннее сопротивление цепи.

24. Закон Кирхгофа:

а) первый закон

$$\sum J_i = 0,$$

где $\sum J_i$ - алгебраическая сумма сил токов, сходящих в узле;

б) второй закон

$$\sum J_i \cdot r_i = \sum \varepsilon_i,$$

где $\sum J_i \cdot r_i$ - алгебраическая сумма произведений сил токов на сопротивления участков; $\sum \varepsilon_i$ - алгебраическая сумма э.д.с.

25. Сопротивление r и проводимость G проводника:

$$r = \rho \frac{l}{S}; \quad G = \sigma \frac{S}{l},$$

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

26. Сопротивление системы проводников:

а) при последовательном соединении

$$r = \sum r_i;$$

б) при параллельном соединении

$$\frac{1}{r} = \sum \frac{1}{r_i},$$

где r_i - сопротивление i -го проводника.

27. Работа тока:

$$A = JUt; \quad A = J^2 \cdot t; \quad A = \frac{U^2}{r} t.$$

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

28. Мощность тока:

$$P = JU; \quad P = J^2 r; \quad P = \frac{U^2}{r}.$$

29. Закон Джоуля-Ленца:

$$Q = J^2 r t.$$

30. Закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E},$$

где σ - удельная проводимость, \vec{E} - напряженность электрического поля, \vec{j} - плотность тока.

31. Связь удельной проводимости с подвижностью v заряженных частиц (ионов):

$$\sigma = Qn(v^+ - v^-)?$$

где Q - заряд иона; n - концентрация ионов; v^+ и v^- - подвижность положительных и отрицательных ионов.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

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

Решение: Все три заряда, расположенные на вершинах треугольника, находятся в одинаковых условиях. По-

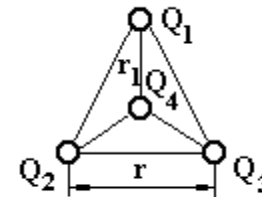


Рис. 1

этому достаточно выяснить, какой заряд следует поместить в центре треугольника, чтобы какой-нибудь один из трех зарядов, например, Q_1 , находился в равновесии. Заряд Q_1 будет находиться в равновесии, если векторная сумма действующих на него сил равна нулю (рис.1):

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

где \vec{F}_2 , \vec{F}_3 , \vec{F}_4 - силы, с которыми соответственно действуют на заряд Q_1 заряды Q_2 , Q_3 , Q_4 ; \vec{F} - равнодействующая сил \vec{F}_2 и \vec{F}_3 .

Так как силы \vec{F} и \vec{F}_4 направлены по одной прямой и в противоположные стороны, то векторное равенство (1) можно заменить скалярным равенством $F - F_4 = 0$, откуда

$$F_4 = F$$

Выразим в последнем равенстве F через F_2 и F_3 и учитывая, что $F_3=F_2$ получим $F_4 = F_2 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}$.

Применяя закон Кулона и имея в виду, что $Q_2=Q_3=Q_1$, найдем

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

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

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

С учетом этого формула (2) примет вид

$$Q_4 = \frac{Q_1}{\sqrt{3}}$$

Подставим сюда числовое значение $Q_1 = 1 \text{ нКл} = 10^{-9} \text{ Кл}$ получим

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

Следует отметить, что равновесие системы зарядов будет неустойчивым.

Пример 2. Тонкий стержень длиной $l=20$ см несет равномерно распределенный заряд. На продолжении оси стержня на расстоянии $a=10$ см от ближайшего конца находится точечный заряд $Q_1=40$ нКл, который взаимодействует со стержнем с силой $F=6$ мкН. Определить плотность τ заряда на стержне.

Решение. Сила взаимодействия заряженного стержня (F) с точечным зарядом Q_1 зависит от линейной плотности τ заряда на стержне. Зная эту зависимость, можно определить τ . При вычислении силы F следует иметь в виду, что заряд на стержне не является точечным, поэтому закон Кулона непосредственно применить нельзя. В этом случае можно поступить следующим образом.

$dQ = \tau \cdot dr$. Этот заряд можно рассматривать как точечный. Тогда согласно закону Кулона,

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

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

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

Откуда интересующая нас линейная плотность заряда

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

Выразим все величины в единицах СИ: $Q_1=40$ нКл= $4 \cdot 10^{-8}$ Кл, $F=6$ мкН= $6 \cdot 10^{-6}$ Н, $l=0,2$ м, $a=0,1$ м,

$$4\pi \epsilon_0 = \frac{1}{9 \cdot 10^9} \text{ Ф/м.}$$

Подставим числовые значения величин в полученную формулу и произведем вычисления:

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

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

Решение. Согласно принципу суперпозиции электрических полей, каждый заряд создает поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность \vec{E} электрического поля в искомой точке может быть найдена как геометрическая сумма напряженностей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 полей, создаваемых каждым зарядом в от-

дельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Напряженность электрического поля, создаваемого в воздухе ($\epsilon=1$) зарядом Q_1 , равна

$$E_1 = Q_1 / 4\pi\epsilon_0 r_1^2 \quad (1),$$

$$\text{зарядом } Q_2 \quad E_2 = Q_2 / 4\pi\epsilon_0 r_2^2 \quad (2)$$

Вектор \vec{E}_1 (рис.3) направлен по силовой линии от заряда Q_1 , так как заряд Q_1 положителен: вектор: \vec{E}_2 направлен также по силовой линии, но к заряду Q_2 , так как заряд Q_2 отрицателен.

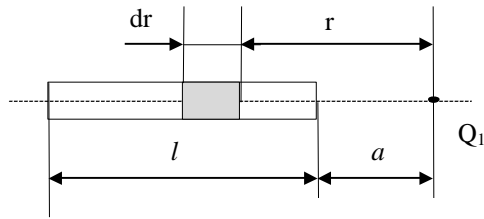


Рис.2

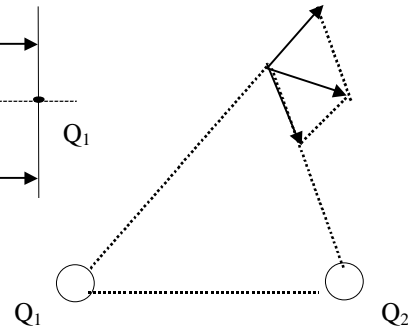


Рис.3

Абсолютное значение вектора \vec{E} найдем по теореме косинусов: $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\alpha}$ (3)

где α - угол между векторами E_1 и E_2 который может быть найден на треугольнике со сторонами r_1 , r_2 и d :

$$\cos\alpha = (d^2 - r_1^2 - r_2^2) / 2r_1r_2.$$

В данной случае во избежание громоздких записей удобно значение $\cos\alpha$ вычислить отдельно:

$$\cos\alpha = \left((0,1)^2 - (0,09)^2 - (0,07)^2 \right) / 2 \cdot 0,09 \cdot 0,07 = -0,238$$

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

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

Подставим числовые значения величин в формулу (4) и произведем вычисления:

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

При вычислении E знак заряда Q_2 опущен, так как знак заряда определяет направление вектора напряженности, а направление \vec{E}_2 было учтено при его графическом изображении (рис.3).

В соответствии с принципом суперпозиции электрических полей потенциал ϕ результирующего поля, создаваемого двумя зарядами Q_1 и Q_2 равен алгебраической сумме потенциалов, т.е.

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 \quad (5)$$

Потенциал электрического поля, создаваемого в вакууме точечным зарядом Q на расстоянии r от него, выражается формулой

$$\phi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (6)$$

В нашем случае согласно формуле (5) и (6) получим

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

Подставим в это выражение числовые значения физических величин, получим

$$\varphi = \frac{1}{4\pi \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^3}} \left(\frac{10^{-9}}{0,09} + \frac{-2 \cdot 10^{-9}}{0,07} \right) = -157 \text{ В.}$$

Пример 4. Точечный заряд $Q=25$ нКл находится в поле, созданном прямым бесконечным цилиндром радиуса $R=1$ см, равномерно заряженным с поверхностной плотностью $\sigma=0,2$ нКл/см². Определить силу F , действующую на заряд, если его расстояние от оси цилиндра $r=10$ см.

Решение. Численное значение силы F , действующей на точечный заряд Q находящийся в поле, определяется по формуле:

$$F = QE \quad (1)$$

где E - напряженность поля.

Как известно, напряженность поля бесконечно длинного равномерно заряженного цилиндра

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}, \quad (2)$$

где τ - линейная плотность заряда.

Выразим линейную плотность τ через поверхностную плотность σ . Для этого выделим элемент цилиндра длиной l и выразим находящийся на нем заряд Q двумя способами:

$$Q = \sigma \cdot S; \quad Q = \tau \cdot l$$

Приравняв правые части этих равенств и сократив на l , получим

$$\tau = 2\pi \cdot R \cdot \sigma$$

С учетом этого формула (2) примет вид

$$E = R\sigma / \epsilon_0 r \quad (3)$$

Выпишем в единицах СИ числовые значения величин:

$Q = 25$ нКл = $2,5 \cdot 10^{-8}$ Кл, $\sigma = 0,2$ нКл/см² = $2 \cdot 10^{-6}$ Кл/м², $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Так как R и r входят в формулу в виде отношения, то они могут быть выражены в любых, но только одинаковых единицах.

Подставим в (3) числовые значения величин:

$$F = \frac{2,5 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10} \text{ Н} = 5,65 \cdot 10^{-4} \text{ Н} = 565 \text{ мкН}$$

Направление силы \vec{F} совпадает с направлением напряженности \vec{E} , последняя в силу симметрии (цилиндр бесконечно длинный) направлена перпендикулярно поверхности цилиндра.

Пример 5. Определить ускоряющую разность потенциалов U , которую должен пройти в электрическом поле электрон, обладающий скоростью $V_1=10^6$ м/с, чтобы скорость его возросла в $n=2$ раза.

Решение. Ускоряющую разность потенциалов можно найти вычислив работу A сил электростатического поля. Эта работа определяется произведением заряда электрона e на разность потенциалов U :

$$A = eU, \quad (1)$$

Работа сил электростатического поля в данном случае равна изменению кинетической энергии электрона:

$$A = T_2 - T_1 = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2}, \quad (2)$$

где T_1 и T_2 - кинетические энергии электрона до и после прохождения ускоряющего поля; m - масса электрона; V_1 и V_2 - начальная и конечная скорости его.

Приравняв правые части равенств (1) и (2), получим

$$eU = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2},$$

или

$$eU = \frac{mn^2V_1^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2},$$

где $n=V_2/V_1$.

Отсюда искомая разность потенциалов

$$U = \frac{mV_1^2}{2e}(n^2 - 1).$$

Подставим числовые значения физических величин и вычислим:

$$U = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (10^6)^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} (2^2 - 1) \text{ В} = 8,53 \text{ В}.$$

Пример 6. Конденсатор емкостью $C_1=3$ мкФ был заряжен до разности потенциалов $U_1=40$ В. После отключения от источника тока конденсатор был соединен параллельно с другим незаряженным конденсатором емкостью $C_2=5$ мкФ. Какая энергия W' расходуется на образование искры в момент присоединения второго конденсатора?

Решение. Энергия W' израсходованная на образование искры

$$W' = W_1 - W_2, \quad (1)$$

где W_1 - энергия, которой обладал первый конденсатор до присоединения к нему второго конденсатора;

W_2 - энергия, которая имеет батарея, составленная из первого и второго конденсаторов.

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле

$$W = \frac{CU^2}{2}, \quad (2)$$

где C - емкость конденсатора или батареи конденсаторов;

U - разность потенциалов на обкладках конденсаторов.

Выразив в формуле (1) энергии W_1 и W_2 по формуле (2) и принимая во внимание, что общая емкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов, получим

$$W' = \frac{C_1U_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2)U_2^2}{2}, \quad (3)$$

где U_2 - разность потенциалов на зажимах батареи конденсаторов.

Учитывая, что заряд после присоединения второго конденсатора остался прежним, выразим разность потенциалов U_2 следующим образом:

$$U_2 = \frac{Q}{C_1 + C_2} = \frac{C_1U_1}{C_1 + C_2}. \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в формулу (3), получим

$$W' = \frac{C_1U_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2)C_1^2U_1^2}{2(C_1 + C_2)^2}.$$

После простых преобразований найдем

$$W' = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_1C_2}{C_1 + C_2} U_1^2.$$

В полученное выражение подставим числовые значения и вычислим W' :

$$W' = \frac{1}{2} \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6}} \cdot 1600 \text{ Дж} = 1,5 \text{ мДж}.$$

Пример 7. Сила тока в проводнике сопротивлением $r = 20$ Ом нарастает в течение времени $\Delta t=2$ с по линейному закону от $J_0=0$ до $J=6$ А (рис.4) . Определить теплоту Q_1 , выделившуюся в этом проводнике за первую секунду, и Q_2 - за вторую, а также найти отношение Q_2/Q_1 .

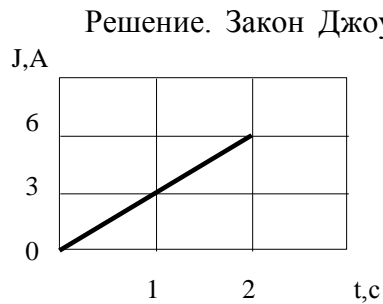


Рис.4.

$$dQ=J^2r dt \quad (1)$$

Здесь сила тока J является некоторой функцией времени. В нашем случае

$$J=kt \quad (2)$$

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

$$k = \frac{\Delta J}{\Delta t} = \frac{6}{2} = 3 \text{ A/c}$$

С учетом (2) формула (1) примет вид:

$$dQ = k^2 r t^2 dt \quad (3)$$

Для определения теплоты, выделившейся за конечный промежуток времени Δt , выражение (3) надо проинтегрировать в пределах от t_1 до t_2 .

$$Q = k^2 r \int_{t_1}^{t_2} t^2 dt = \frac{1}{3} k^2 r (t_2^3 - t_1^3).$$

При определении теплоты, выделившейся за первую секунду пределы интегрирования $t_1=0$, $t_2=1$ с и, следовательно:

$$Q = \frac{1}{3} \cdot 3^2 \cdot 20(1 - 0) = 60 \text{ Дж}$$

При определении теплоты Q_2 пределы интегрирования $t_1=1$ с, $t_2=2$ с, тогда

$$Q = \frac{1}{3} \cdot 3^2 \cdot 20(8 - 1) = 420 \text{ Дж}$$

Следовательно: $Q_2/Q_1=420/60=7$, т.е. за вторую секунду выделится теплоты в 7 раз больше, чем за первую.

Пример 8. Электрическая цепь состоит из двух гальванических элементов, трех сопротивлений и гальванометра (рис.5). В этой цепи $r_1=100$ Ом, $r_2=50$ Ом, $r_3=20$ Ом, э.д.с. элемента $\varepsilon_3=2$ В. Гальванометр регистрирует ток $J_3=50$ мА, идущий в направлении, указанном стрелкой.

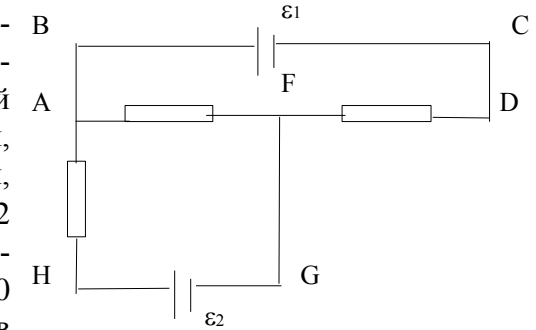


Рис.5

Определить э.д.с. ε_2 второго элемента. Сопротивлением гальванометра и внутренним сопротивлением элементов пренебречь.

Решение. Выберем направления токов, как они показаны на рис.5 и условимся обходить контуры по часовой стрелке.

По первому закону Кирхгофа для узла F имеем

$$J_1 - J_2 - J_3 = 0 \quad (1)$$

По второму закону Кирхгофа имеем для контура ABCDFA

$$-J_1 r_1 - J_2 r_2 = -\varepsilon_1$$

или после умножения обеих частей равенства на -1

$$J_1 r_1 + J_2 r_2 = \varepsilon_1 \quad (2)$$

Соответственно для контура AFGHA

$$J_1 r_1 + J_3 r_3 = \varepsilon_2 \quad (3)$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Электростатическое поле в вакууме

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

$$J_1 - J_2 - 0,05 = 0;$$

$$50J_1 + 25J_2 = 1;$$

$$100J_1 + 0,05 \cdot 20 = \varepsilon_2$$

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

$$J_1 - J_2 = 0,05$$

$$50J_1 - 25J_2 = 1$$

$$100J_1 - \varepsilon_2 = -1$$

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

Составим и вычислим определитель Δ системы:

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

Составим и вычислим определитель $\Delta\varepsilon_2$:

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

Разделив определитель $\Delta\varepsilon_2$ на определитель Δ , найдем числовое значение э.д.с. ε_2 :

$$\varepsilon_2 = \frac{-300}{-75} = 4 \text{ В}$$

1. Какое поле называется электростатическим? Чем подтверждается факт существования поля в какой-либо области пространства? Сформулируйте закон Кулона. Как найти равнодействующую сил, с которой поле, создаваемое несколькими зарядами, действует на пробный заряд?
2. Что является условием равновесия точечного заряда? При каких условиях равновесие будет устойчивым?
3. Что называется напряженностью электростатического поля? Чему равна циркуляция вектора напряженности электростатического поля? Что можно сказать о поле вектора, циркуляция которого равна нулю? В чем состоит метод суперпозиции полей? Как применить этот метод для расчета напряженности поля, создаваемого системой точечных зарядов и равномерно распределенными зарядами?
4. Какая связь существует между силой, действующей на точечный заряд, и его потенциальной энергией в электростатическом поле? Чему равна потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов?
5. Что называется потенциалом электростатического поля? Чему равна разность потенциалов между двумя точками поля? Какую работу надо совершить, чтобы переместить заряд из точки с одним потенциалом в точку с другим потенциалом?
6. Какая связь существует между потенциалом точки и напряженностью электростатического поля в данной точке? Как, зная закон изменения потенциала поля, найти закон изменения его напряженности? Что такое эквипотенциальные поверхности?

7. Что называется потоком вектора напряженности электростатического поля? Как рассчитать поток вектора напряженности через заданную поверхность? Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме. Поясните, какая информация о поле вектора следует из того, что поток вектора через любую замкнутую поверхность отличен от нуля. Как применить теорему Остроградского-Гаусса к расчету напряженности поля равномерно заряженных тел: бесконечной плоскости, поверхностно заряженной сферы, бесконечно длинной нити и т.д. Когда для расчета напряженности электростатических полей, создаваемых заряженными телами, следует применять теорему Остроградского-Гаусса, а когда – метод суперпозиции полей?
8. Как определить разность потенциалов между двумя точками электростатического поля, если известен закон изменения напряженности этого поля?
9. Чему равна работа по перемещению точечного заряда в электростатическом поле? Когда эта работа положительна, а когда – отрицательна? Какая связь существует между работой по перемещению точечного заряда и изменением его потенциальной энергии? При каких условиях можно найти константу, с точностью до которой определяется потенциальная энергия в данной точке?
10. Как, зная закон изменения напряженности электростатического поля, найти величину силы, действующей со стороны поля на пробный точечный заряд, помещенный в данную точку поля? При каком условии перемещающийся в электростатическом поле точечный заряд, на который действует несколько сил, может остановиться?

Электростатическое поле в диэлектрике. Проводники в электростатическом поле

1. Какие типы диэлектриков Вы знаете? Какие виды поляризации Вам известны? Что называется дипольным моментом молекулы? Что такое поляризуемость молекулы? Что называется диэлектрической восприимчивостью вещества? Что показывает относительная диэлектрическая проницаемость вещества? Какая связь существует между диэлектрической восприимчивостью и относительной диэлектрической проницаемостью диэлектриков?
2. Чему равна напряженность поля в диэлектрике? Почему она различна для разных диэлектриков? Что такое поляризованность диэлектрика? Чему равен поток вектора плотности связанных зарядов, появившихся на гранях диэлектрика при поляризации? Что называют вектором электрического смещения?
3. Сформулируйте теорему Остроградского-Гаусса для электростатического поля в диэлектрике. Поясните, какие заряды учитывает теорема Остроградского-Гаусса для электростатического поля в вакууме, а какие – для поля в диэлектрике. Какие заряды следует учитывать при расчете потока вектора поляризованности через замкнутую поверхность? На каких зарядах могут начинаться и заканчиваться линии напряженности электростатического поля, линии электрического смещения, линии поляризованности?
4. Поясните, какие соотношения выполняются для нормальных и тангенциальных составляющих векторов напряженности электрического поля и электрического смещения на границе раздела двух диэлек-

триков. Запишите закон преломления линий электрического смещения.

5. Каким образом распределяются заряды в проводнике? Назовите условия равновесия зарядов в проводнике. На чем основан метод зеркальных изображений?
6. Что называется электроемкостью уединенного проводника? Чему равна электроемкость уединенного проводящего шара? Чему равна напряженность поля вблизи поверхности проводника? Какая связь существует между поверхностной плотностью заряда проводника и электрическим смещением вблизи его поверхности? Чему равна энергия уединенного проводника?
7. Если два или несколько проводников, имеющих различные потенциалы, привести в контакт или соединить проводником, при каком условии перераспределение зарядов прекратится? Какая при этом совершится работа?
8. Что называется электроемкостью конденсатора? Чему равна электроемкость плоского конденсатора? По какой формуле вычисляют энергию конденсатора? На что расходуется энергия конденсатора при его разряде?
9. Чему равна электроемкость плоского конденсатора, если между его обкладками поместить плоскопараллельную пластинку из диэлектрика, толщина которой равна расстоянию между обкладками конденсатора, а площадь – меньше площади каждой из обкладок? Как определить электроемкость плоского конденсатора, если часть пространства между обкладками конденсатора занимает плоскопараллельная пластинка из диэлектрика, площадь которой равна площади обкладок, а толщина меньше расстояния между

обкладками конденсатора? Какую работу надо совершить, чтобы дополнительно раздвинуть обкладки конденсатора на некоторое расстояние, если конденсатор отключен от источника напряжения?

10. Чему равна общая емкость параллельно соединенных конденсаторов? Как найти общую емкость при последовательном соединении конденсаторов?

Движущийся заряд в электростатическом поле. Постоянный электрический ток

1. Чему равна сила, действующая на заряд в электростатическом поле? Куда она направлена? Как определить скорость, которую приобретает заряженная частица под действием этой силы?
2. Что такое электродвижущая сила цепи или участка цепи? Как электродвижущая сила связана с напряженностью поля сторонних сил? Что называется падением напряжения (напряжением) на данном участке цепи? В каком случае напряжение совпадает с разностью потенциалов? Как определить скорость, которую приобретает заряженная частица под действием ускоряющей разности потенциалов?
3. Что называется силой тока? Как она связана с зарядом, переносимым через поверхность? Что называется вектором плотности тока?
4. Сформулируйте закон Ома для неоднородного участка цепи, для замкнутой цепи. Как в электрическую цепь подключают амперметр? Как можно расширить пределы измерения вольтметра? Можно ли вольтметром измерить силу тока, а амперметром – падение напряжения? Что для этого нужно сделать? Как рассчитать цену деления этих приборов?

5. На каких участках замкнутой цепи, содержащей последовательно и параллельно соединенные участки, будут одинаковыми сила тока, падение напряжения? Запишите закон Ома для этих участков цепи.
6. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца. Как количество теплоты, выделяемое в проводнике, связано с работой источника тока? Чему равен коэффициент полезного действия нагревательного прибора?
7. При каком значении внешнего сопротивления ток во внешней цепи максимален? При каком внешнем сопротивлении максимальной будет полезная мощность? Как рассчитать максимальные значения этих величин?
8. Как сопротивление металла зависит от температуры? Какую зависимость сопротивления от температуры дает классическая теория электропроводности металлов? В чем состоят затруднения классической теории электропроводности металлов?
9. Сформулируйте закон Ома в дифференциальной форме. Что называется коэффициентом электропроводности (проводимость) среды? Как коэффициент электропроводности связан с удельным сопротивлением? Чему равна плотность тока в ионизированных газах?
10. Что называется подвижностью носителей заряда? Почему в ионизированных газах подвижность отрицательных носителей может на несколько порядков превышать подвижность положительных носителей заряда?

При изучении разделов “Электростатика”, “Постоянный ток” студентами для самостоятельного решения предлагаются следующие задачи.

1. Два одинаковых проводящих шарика с зарядами $q_1=9 \cdot 10^{-6}$ Кл и $q_2=3 \cdot 10^{-6}$ Кл вследствие притяжения соприкоснулись и вновь разошлись на расстояние 0,1 м. Определить заряд каждого шарика после соприкосновения и силу взаимодействия между ними.

2. На двух одинаковых капельках воды находится по лишнему электрону. Каков радиус капелек, если сила электростатического отталкивания уравнивает силу гравитационного притяжения?

3. По обмотке очень короткой катушки $r=16$ см течет ток силой $I=5$ А. Сколько витков проволоки намотано на катушку, если напряженность магнитного поля в ее центре $A=800$ А/м?

4. На тонком кольце радиуса $r=0,05$ м равномерно распределен заряд $Q=5 \cdot 10^{-7}$ Кл. Определить силу, действующую на точечный заряд $q=1 \cdot 10^{-9}$ Кл, находящийся на расстоянии $r=0,2$ м.

5. Вокруг точечного заряда $q_1=3 \cdot 10^{-9}$ Кл равномерно движется по окружности под действием силы притяжения маленький отрицательно заряженный шарик. Чему равно отношение заряда шарика к его массе, если радиус окружности 2 см, а угловая скорость вращения 3,0 рад/с?

6. Два маленьких проводящих шарика одного радиуса с разноименными зарядами притягиваются с силой $4 \cdot 10^{-3}$ Н, когда расстояние между ними 30 см. После того, как шарики на короткое время привели в соприкосновение и вновь поместили на прежнее расстояние, сила электрического взаимодействия стала равной $2,25 \cdot 10^{-3}$ Н. Определить заряды шариков до соприкосновения.

7. Заряженный шарик массой $5,8 \cdot 10^{-4}$ кг подвешен на шелковых нитях, образующих угол 90° . На расстоянии $4,2 \cdot 10^{-2}$ м по вертикали снизу помещают другой шарик с зарядом такой же величины, но противоположным по знаку, при этом натяжение нити увеличивается вдвое. Определить заряд шарика и натяжение нити при наличии кулоновского взаимодействия. См. рис. 6.

8. Электрическое поле образовано двумя зарядами $5 \cdot 10^{-4}$ Кл и $-5 \cdot 10^{-4}$ Кл, расположенными на расстоянии 10 см друг от друга в точках А и В. Какая сила будет действовать на капельку, находящуюся на оси симметрии на расстоянии 5 см от середины отрезка АВ, если заряд капельки равен 10 электронам. Какое первоначальное ускорение получит капелька, если ее масса $4 \cdot 10^{-8}$ кг?

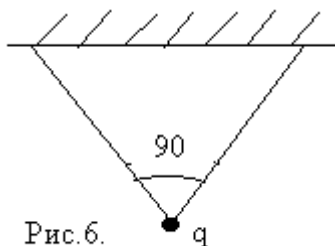


Рис. 6.

9. Тонкий длинный стержень равномерно заряжен с линейной плотностью $\tau = 10^{-7}$ Кл/м. На продолжении оси стержня на расстоянии $a = 0,1$ м от его конца находится точечный заряд $5 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определить силу взаимодействия заряженного стержня и точечного заряда.

10. Два металлических шарика диаметром 4 см каждый находятся в трансформаторном масле ($\epsilon = 2,2$) на расстоянии 40 см между их центрами. Определить, с какой поверхностной плотностью заряжены шарика, если они взаимодействуют с силой 2,2 кН.

11. Определить силу, которая действует на заряд $5 \cdot 10^{-8}$ Кл, помещенный на середине расстояния между двумя точечными зарядами 10^{-9} Кл и $-2 \cdot 10^{-9}$ Кл, если они находятся в вакууме и расстояние между ними 0,2 м.

12. На расстоянии $r = 3$ м друг от друга расположены два точечных отрицательных заряда $q_1 = -4 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_2 = -3 \cdot 10^{-9}$ Кл. Когда в некоторой точке поместили заряд q_0 , то все три заряда оказались в равновесии. Найти заряд q_0 и расстояние между зарядами q_1 и q_2 .

13. Три одинаковых заряда величиной $7 \cdot 10^{-9}$ Кл каждый помещены в вершинах равностороннего треугольника. Сила, действующая на каждый заряд, $F = 0,01$ Н. Определить длину стороны треугольника.

14. Электрон движется по направлению силовых линий однородного электрического поля, напряженность которого $E = 120$ В/м. Какое расстояние пролетит электрон до полной потери скорости, если его начальная скорость $v_0 = 10^6$ м/с? За какое время будет пройдено это расстояние? Отношение заряда электрона к его массе равно $1,758 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

15. Определить напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами $2 \cdot 10^{-7}$ Кл и $-4 \cdot 10^{-7}$ Кл, находящимся в скипидаре на расстоянии 10 см друг от друга.

16. Напряженность поля между обкладками плоского конденсатора 6000 В/м. Определить массу помещенной в это поле пылинки, если она несет заряд $4,5 \cdot 10^{-11}$ Кл и находится в равновесии.

17. Однородное поле образовано заряженной бесконечной плоскостью. Определить силу, действующую на заряд 0,15 нКл, помещенный в поле плоскости, если поверхностная плотность заряда на ней $2,0 \cdot 10^{-5}$ Кл/м², $\epsilon = 1$.

18. Тонкая проволока длиной $l = 10$ см равномерно заряжена с линейной плотностью $\tau = 10^{-8}$ Кл/м. Определить напряженность поля в точке, находящейся на расстоянии $r = 10$ см от проволоки.

19. В однородном электрическом поле, напряженность которого $E = 3 \cdot 10^4$ В/м, находится диполь длиной

$l=3,9 \cdot 10^{-11}$ м с зарядами, равными заряду электрона. Ось диполя составляет с направлением линий напряженностью угол $\alpha=30^\circ$. Найдите вращающий момент, действующий на диполь.

20. Система двух точечных электрических зарядов $q_1=-10^{-8}$ Кл и $q_2=10^{-8}$ Кл имеет электрический момент, равный $P_e=5 \cdot 10^{-10}$ Кл. Определите напряженность поля в точках, расположенных на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии $r_1=5$ см и $r_2=2$ см от середины диполя.

21. На расстоянии 4 мм от прямой проволоки длиной 150 см, на которой равномерно распределен заряд $2 \cdot 10^{-7}$ Кл, находится пылинка с зарядом $1,67 \cdot 10^{-16}$ Кл. Определить силу, действующую на пылинку.

22. Две плоские пластинки площадью 200 см^2 , заряженные равными зарядами, притягиваются, находясь в керосине, с силой $2,5 \cdot 10^{-2}$ Н. Расстояние между пластинами столь мало, что напряженность поля можно рассчитывать по формуле для бесконечных плоскостей. Определить: а) находящиеся на них заряды; б) индукцию поля в керосине.

23. Бесконечная равномерно заряженная плоскость имеет поверхностную плотность $\tau=9 \cdot 10^{-6}$ Кл/м². Над ней находится алюминиевый шарик, заряженный количеством электричества $q=3,68 \cdot 10^{-7}$ Кл. Какой радиус должен иметь шарик, чтобы он не падал?

24. Два заряда $q_1=2 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2=1,6 \cdot 10^{-7}$ Кл помещены на расстоянии 5 см друг от друга. Определить напряженность поля в точке, удаленной от первого заряда на 3 см и от второго на 4 см.

25. На какой угол в вакууме отклонится бузиновый шарик с зарядом $4,9 \cdot 10^{-9}$ Кл и массой 0,4 г, подвешенный на шелковой нити, если его поместить в горизонтальное однородное поле с напряженностью 10^5 Н/Кл.

26. Какое первоначальное ускорение получит капелька массой 0,016 мг, потерявшая 100 электронов, если на расстоянии 3 см от нее поместить заряд $2 \cdot 10^{-6}$ Кл?

27. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром $d=10$ см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью $G=10^{-6}$ Кл/м². Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности на $a=0,05$ м.

28. Три одинаковые пластины большой площади расположены параллельно друг от друга на расстоянии 1 мм одна от другой. Заряды на пластинах распределены равномерно, поверхностные плотности равны $G_1=2 \cdot 10^{-6}$ Кл/м², $G_2=4 \cdot 10^{-6}$ Кл/м², $G_3=-6 \cdot 10^{-6}$ Кл/м². Определить напряженность между пластинами.

29. Два точечных заряда $q_1=2 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2=-4 \cdot 10^{-7}$ Кл находятся в керосине на расстоянии $d=10$ см друг от друга. Каковы напряженность и электрическое смещение в точке А, находящейся на расстоянии $r_1=20$ см от одного и $r_2=15$ см от другого заряда?

30. Два точечных заряда $q_1=2q$ и $q_2=-q$ находятся на расстоянии d друг от друга. Найти положение точки на прямой, проходящей через эти заряды, напряженность поля в которой равна нулю.

31. Известно, что градиент потенциала электрического поля Земли у ее поверхности направлен вертикально вниз и равен (в среднем) 130 В/м. Найти среднюю поверхностную плотность заряда Земли.

32. Определить потенциал точки поля, находящейся на расстоянии 15 см от центра заряженного проводящего шара радиусом 2 см, если поверхностная плотность заряда на шаре равна 10^{-10} Кл/см².

33. По тонкому кольцу радиуса $R=0,1$ м равномерно распределен заряд с линейной плотностью $\tau=10^{-8}$ Кл/м.

Определить потенциал в точке на оси кольца на расстоянии 0,05 м от центра.

34. Расстояние между зарядами диполя $q=5 \cdot 10^{-8}$ Кл равно 0,2 м. Найти потенциал поля, созданного диполем, в точке, удаленной на $a=0,1$ м, как от первого, так и от второго заряда.

35. Поле образовано бесконечной равномерно заряженной плоскостью с поверхностной плотностью $G=5 \cdot 10^{-9}$ Кл/м². Определить разность потенциалов двух точек поля, отстоящих от плоскости на $r_1=0,05$ м и $r_2=0,1$ м.

36. Два проводящих шара, радиусы которых $r_1=0,1$ м и $r_2=0,05$ м, заряженные до потенциалов $\varphi_1=20$ В и $\varphi_2=10$ В соединяются тонким проводником. Найти поверхностные плотности G_1 и G_2 зарядов шаров после их соединения. Расстояние между шарами велико по сравнению с их радиусами.

37. Какую нужно совершить работу, чтобы перенести точечный заряд $q=4 \cdot 10^{-8}$ Кл из точки, находящейся на расстоянии 1 м, в точку, находящуюся на расстоянии 0,01 м от поверхности шара радиусом 0,02 м с поверхностной плотностью заряда 10^{-11} Кл/м²?

38. Положительные заряды $q_1=3 \cdot 10^{-5}$ Кл и $q_2=6 \cdot 10^{-3}$ Кл находятся в вакууме на расстоянии 3 м друг от друга. Какую нужно совершить работу, чтобы сблизить заряды до расстояния в 0,5 м?

39. Диполь с электрическим моментом $P_e=3 \cdot 10^{-10}$ Кл·м свободно устанавливается в однородном электрическом поле напряженностью $E=1,5 \cdot 10^5$ В/м. Какую нужно совершить работу, чтобы повернуть его на 180°?

40. В вершинах при основании прямоугольного равнобедренного треугольника расположены точечные заряды, одинаковые по абсолютной величине $q_1=q_2=2 \cdot 10^{-8}$ Кл. Рас-

стояние между зарядами 0,6 м. Определить потенциал в третьей вершине треугольника.

41. Электрон вылетает из точки, потенциал которой 6000 В, имея скорость, направленную вдоль поля и равную $3 \cdot 10^7$ м/с. Определить потенциал точки, в которой скорость электрона станет равной нулю.

42. Электрон летит на отрицательный ион. Заряд иона равен трем зарядам электрона. В начальный момент электрон находится на очень большом расстоянии от иона и имеет скорость, равную 10^5 м/с. На какое наименьшее расстояние электрон может приблизиться к иону.

43. Бесконечная плоскость несет заряд, равномерно распределенный с поверхностной плотностью $G=10^{-6}$ Кл/м². На некотором расстоянии от плоскости, параллельно ей расположен круг радиусом $r=0,1$ м. Вычислить поток вектора напряженности через этот круг.

44. Определить потенциал шара, если известно, что на расстоянии 10 м от его поверхности потенциал электрического поля равен 20 В, радиус шара 0,1 м.

45. Электрон летит от точки А к точке В. Между этими точками имеется разность потенциалов 100 В. Какую скорость будет иметь электрон в точке В, если его скорость в точке А была равна нулю? Отношение заряда электрона к его массе $e/m=5,93 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

46. Тонкий стержень согнут в кольцо радиусом 0,1 м. Он равномерно заряжен с линейной скоростью $3 \cdot 10^{-7}$ Кл/м. Определить потенциал в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии 0,2 м от его центра.

47. Определить потенциал поля, создаваемого точечным диполем с электрическим моментом $P_e=4 \cdot 10^{-9}$ Кл·м на расстоянии 0,1 м от центра диполя, в направлении, составляющем угол $\alpha=60^\circ$ с вектором электрического момента.

48. Металлический шарик диаметром 0,2 м заряжен отрицательно до потенциала 150 В. Сколько электронов находится на поверхности шарика.

49. Бесконечная плоскость равномерно заряжена с поверхностной плотностью заряда $4 \cdot 10^{-9}$ Кл/м². Определить численное значение и направление градиента потенциала электрического поля, созданного этой плоскостью.

50. Бесконечная плоскость равномерно заряжена с поверхностной плотностью $G=8$ нКл/м². Определить разность потенциалов двух точек поля, находящихся на расстояниях $r_1=5$ см и $r_2=10$ см от плоскости.

51. Электрическое поле создано тонкой бесконечной длинной равномерно заряженной $\tau=0,1$ Кл/м от нити находится плоская круглая рамка радиусом $r=0,1$ м. Определить поток вектора индукции через площадь рамки, если плоскость ее составляет угол $\alpha=30^\circ$ с силовой линией, проходящей через середину площади.

52. Металлический шарик диаметром $d=5$ см заряжен отрицательно до потенциала $\phi=100$ В. Сколько электронов образует заряд и где расположен заряд?

53. Тонкий стержень длиной $l=1$ м несет равномерно распределенный заряд $q=2$ нКл. Определить разность потенциалов двух точек электрического поля, лежащих на расстояниях $r_1=10$ см и $r_2=20$ см от стержня.

54. Бесконечная тонкая прямая нить несет равномерно распределенной по длине нити заряд с линейной плотностью $\tau=2$ нКл/м. Чему равен градиент потенциала в точке, удаленной на расстояние $a=20$ см от нити? Каково направление градиента потенциала?

55. Заряд $q=2 \cdot 10^{-6}$ Кл равномерно распределен по объему шарика радиусом $R=4 \cdot 10^{-2}$. Найти потенциал в центре шара, диэлектрическая проницаемость внутри и вне шара равна 1.

56. Диполь с электрическим моментом $P_e=10^{-7}$ Кл·м свободно установился в однородном электрическом поле с напряженностью 10^4 В/м. Определить изменение потенциальной энергии диполя при повороте его на угол $\alpha=60^\circ$.

57. Найти потенциальную энергию системы трех точечных зарядов $q_1=10^{-8}$ Кл, $q_2=2 \cdot 10^{-8}$ Кл, $q_3=-3 \cdot 10^{-8}$ Кл, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a=0,1$ м.

58. Тонкий стержень согнут в кольцо радиуса 0,1 м. Он заряжен с линейной плотностью $3 \cdot 10^{-7}$ Кл/м. Какую работу надо совершить, чтобы перенести заряд $5 \cdot 10^{-9}$ Кл из центра кольца в точку, расположенную на оси кольца на расстоянии 0,2 м от центра его?

59. Бесконечная плоскость заряжена с поверхностной плотностью $3,54 \cdot 10^{-8}$ Кл/м². По направлению силовой линии поля, созданного плоскостью, летит электрон. Определить минимальное расстояние, на которое может подойти к плоскости электрон, если на расстоянии 0,05 м он имел кинетическую энергию $12,8 \cdot 10^{-15}$ Дж.

60. Пылинка массой 10^{-12} кг, несущая на себе пять электронов, прошла в вакууме ускоряющую разность потенциалов $3 \cdot 10^6$ В. Какова кинетическая энергия пылинки? Какую скорость приобрела пылинка?

61. Определить емкость конденсатора, для изготовления которого использовали ленту алюминиевой фольги длиной 157 см и шириной 9 см. Толщина парафинированной бумаги 0,1 мм, ее относительная диэлектрическая проницаемость равна 2. Какая энергия запасена в конденсаторе, если он заряжен до рабочего напряжения 400 В?

62. Определить заряд в плоском конденсаторе емкостью 0,02 мкФ, если напряженность поля в конденсаторе 320 В/см, а расстояние между пластинами 0,5 см. Каким будет напряжение на пластинах, если зазор между ними уве-

личить в 2 раза? Определить энергию конденсатора в обоих случаях.

63. Площадь пластины слюдяного конденсатора 36 см^2 , толщина слоя $0,15 \text{ см}$. Вычислить емкость, заряд.

64. Площадь пластины слюдяного конденсатора 36 см^2 , толщина слоя $0,15 \text{ см}$. Вычислить емкость конденсатора, заряд, энергию, если разность потенциалов на его обкладках 300 В , а диэлектрическая проницаемость слюды 7 . Определить также диэлектрическую восприимчивость слюды, поверхностные плотности зарядов на слюде и обкладках, вектор поляризации.

65. Определить работу, которую необходимо совершить, чтобы увеличить расстояние между пластинами плоского воздушного конденсатора на $0,4 \text{ мм}$. Площадь каждой пластины равна $6,28 \cdot 10^4 \text{ мм}^2$, заряд составляет $2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$.

66. Площадь каждой пластины слюдяного конденсатора 300 см^2 , толщина слюды 1 мм , диэлектрическая проницаемость слюды 7 . Какая разность потенциалов была приложена к пластинам, если известно, что при разрядке конденсатора выделялось $0,21 \text{ Дж}$ тепла?

67. Плоский воздушный конденсатор емкостью $1,6 \cdot 10^3 \text{ пФ}$ зарядили до разности потенциалов 500 В , отключили от источника напряжения и увеличили расстояние между пластинами в 2 раза. Определить разность потенциалов на пластинах конденсатора после их раздвижения и работу, совершенную внешними силами для их раздвижения.

68. Конденсатор неизвестной емкости с напряжением 1000 В соединили параллельно с другим конденсатором емкостью 2 мкФ и напряжением на обкладках 400 В . Какова емкость первого конденсатора, если после их соединения напряжение на обкладках стало 570 В ? Определить общий заряд.

69. Конденсатор емкостью 6 мкФ и напряжением 400 В соединили параллельно с незаряженным конденсатором емкостью 10 мкФ . Какое установилось напряжение на обкладках обоих конденсаторов? Как распределился заряд?

70. Определить емкость плоского конденсатора с площадью пластины 20 см^2 , который содержит в качестве диэлектрика слой слюды $3 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ и слой парафинированной бумаги толщиной $1 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$. Для слюды диэлектрическую проницаемость принять $\epsilon=6$, для бумаги $\epsilon=2$. Определить также в каждом слое напряженность E и вектор смещения D при напряжении 120 В .

71. Три конденсатора соединены как показано на рис.7. Напряжение, подведенное к точкам А и В, равно 250 В , $C_1=1,5 \text{ мкФ}$, $C_2=3 \text{ мкФ}$, $C_3=4 \text{ мкФ}$. Какой заряд накоплен конденсаторами?

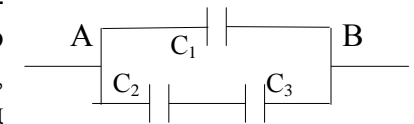


Рис. 7

Чему равна энергия всех конденсаторов?

72. Емкость конденсаторов батареи равна $5,8 \text{ мкФ}$. Какова емкость первого конденсатора, если $C_2=1$ и $C_3=4 \text{ мкФ}$, а подведенное напряжение 220 В ? См. рис.8.

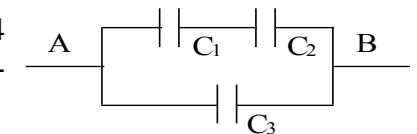


Рис. 8

73. Два конденсатора с емкостью 4 и 1 мкФ соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения 220 В . Определить общую емкость, энергию. Как распределится напряжение между конденсаторами?

74. Три конденсатора с емкостью $C_1=1$, $C_2=1$, $C_3=2 \text{ мкФ}$ соединены, как показано на рис. 9 и подключены к источнику постоянного напряжения 120 В . Какова общая емкость? Определить заряд и напряжение на каждом конденсаторе, общую энергию.

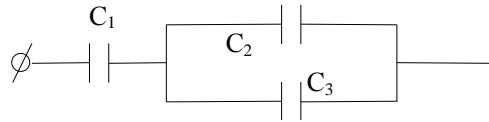


Рис. 9.

74. Три конденсатора с емкостью $C_1=1$, $C_2=1$, $C_3=2$ мкФ соединены, как показано на рисунке и подключены к источнику постоянного напряжения 120 В. Какова общая емкость? Определить заряд и напряжение на каждом конденсаторе, общую энергию.

75. Какой заряд необходимо передать плоскому конденсатору емкостью 0,015 мкФ, чтобы пылинка массой $1 \cdot 10^{-11}$ г, потерявшая $N=20$ электронов, могла находиться в равновесии в поле этого конденсатора? Расстояние между пластинами 2,5 мм.

76. В плоский воздушный конденсатор параллельно его пластинам влетает электрон со скоростью $3 \cdot 10^5$ м/с, при вылете из конденсатора, при вылете из конденсатора он смещается на $1,76 \cdot 10^{-3}$ м от своего первоначального направления. Определить отношение заряда электрона к его массе, если длина конденсатора 3 см, расстояние между пластинами $2 \cdot 10^{-2}$ м и разность потенциалов между пластинами 400 В.

77. Электрон летит от одной пластины плоского конденсатора до другой. Разность потенциалов между пластинами равна 3 кВ, расстояние между пластинами 5 мм. Найти: 1) силу, действующую на электрон; 2) ускорение электрона; 3) скорость, с которой электрон приходит ко второй пластине; 4) поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора; 5) поток вектора напряженности.

78. Найти емкость земного шара. Радиус земного шара принять 6400 км. На сколько изменится потенциал земного шара, если ему сообщить 2 Кл заряда?

79. Восемь заряженных водяных капель радиусом 1 мм и зарядом в 10^{-10} Кл каждая сливаются в одну общую каплю. Найти потенциал большой капли.

80. Площадь каждой пластины плоского конденсатора 1 м², расстояние между пластинами 1,5 мм. Конденсатор заряжен до потенциала 300 В. Найти емкость конденсатора, энергию, поверхностную плотность заряда на пластинах.

81. Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии $d=1$ см друг от друга, приложена разность потенциалов $U=300$ В. В пространстве между пластинами помещается пластинка стекла $d_1=0,5$ см, $\epsilon=6$ и пластинка парафина $d_2=0,5$ см, $\epsilon=2$. Найти: 1) напряженность электрического поля в каждом слое; 2) падение потенциала в каждом слое; 3) емкость конденсатора, если площадь пластины $S=100$ см; 4) поверхностную плотность заряда на пластинах; 5) поток вектора смещения.

82. Пластины плоского конденсатора площадью 100 см² каждая притягиваются друг к другу с силой $3 \cdot 10^{-2}$ Н. Пространство между пластинами заполнено слюдой ($\epsilon=6$). Найти: 1) заряды, находящиеся на пластинах; 2) напряженность поля между пластинами; 3) вектор смещения.

83. Разность потенциалов между пластинами плоского конденсатора площадью 100 см² каждая равна 280 В. Поверхностная плотность заряда на пластинах $4,95 \cdot 10^{-11}$ Кл/см². Найти: 1) напряженность поля внутри конденсатора; 2) расстояние между пластинами; 3) емкость; 4) энергию; 5) силу притяжения пластин конденсатора.

84. Плоский воздушный конденсатор с площадью пластин 100 см² и расстоянием 1 мм заряжен 100 В. Затем пластины раздвигаются до расстояния 25 мм. Найти энергию конденсатора до и после раздвижения пластин, если источник напряжения перед раздвижением 1) не отключается; 2) отключается.

85. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком, диэлектрическая восприимчивость которого равна 0,5. На пластины, расстояние между которыми равно 5 мм, подано напряжение 4 кВ. Найти поверхностную плотность зарядов на диэлектрике, на пластинах, а также величину вектора поляризации.

86. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом (ϵ). На пластины, расстояние между которыми равно 4 мм, подано напряжение 1200 В. Найти: 1) напряженность E ; 2) величину вектора смещения D ; 3) поверхностную плотность связанного заряда на стекле; 4) вектор поляризации; 5) диэлектрическую восприимчивость.

87. Между обкладками плоского конденсатора, заряженного до разности потенциалов 2 кВ, зажата стеклянная пластина (ϵ) толщиной 5 мм, площадью 100 см². Определить вектор поляризации и энергию поляризованной стеклянной пластины.

88. Между обкладками плоского конденсатора, заряженного до разности потенциалов 3 кВ, зажата стеклянная пластина ($\epsilon=7$) толщиной 6 мм, площадью 100 см². Определить диэлектрическую восприимчивость, поток вектора напряженности и вектора смещения в стекле.

89. Между обкладками плоского конденсатора, расстояние между которыми 2 мм, находится диэлектрик. На обкладках напряжение 600 В. Если, отключив источник напряжения, вынуть диэлектрик из конденсатора, то разность потенциалов на пластинах конденсатора возрастает до 1800 В. Найти: 1) поверхностную плотность связанных зарядов на диэлектрике; 2) вектор смещения; 3) диэлектрическую восприимчивость.

90. Между пластинами плоского конденсатора находится парафин $\epsilon=6$. При соединении к источнику напряже-

ния давление пластин на парафин стало равным 5 Н/м². Найти: 1) напряженность электрического поля и вектор смещения; 2) поверхностную плотность связанных зарядов на парафине и на пластинах конденсатора; 3) объемную плотность энергии электрического поля; 4) диэлектрическую восприимчивость.

91. Пространство между пластинами плоского конденсатора объемом 20 см³ заполнено диэлектриком $\epsilon=5$, пластины конденсатора присоединены к источнику напряжения, при этом поверхностная плотность связанных зарядов на диэлектрике равна $8,35 \cdot 10^{-6}$ Кл/м². Какую работу надо совершить, чтобы вытащить диэлектрик из конденсатора: 1) когда источник включен; 2) когда отключен.

92. Определить плотность тока в железном проводнике длиной 10 м, если провод находится под напряжением 6 В.

93. Зашунтированный амперметр измеряет токи силой до 10 А. Какую наибольшую силу тока может измерить этот амперметр без шунта, если сопротивление амперметра 0,02 Ом и сопротивление шунта 5 мОм?

94. Две группы из трех последовательно соединенных элементов соединены параллельно. ЭДС каждого элемента 1,2 В, внутреннее сопротивление 0,2 Ом. Полученная батарея замкнута на внешнее сопротивление 1,5 Ом. Найти силу тока во внешней цепи.

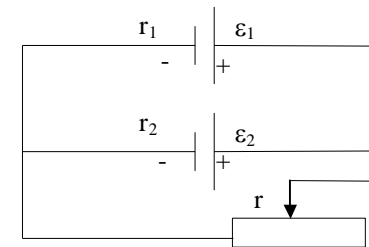


Рис. 10

95. Две батареи $E_1=10$ В, $r_1=1$ Ом, $E_2=8$ В, $r_2=2$ Ом/ и реостат $r=6$ Ом/ соединены как показано на рисунке 10. Найти силу тока в батареях и реостате.

96. Два источника тока $\mathcal{E}_1=8$ В, $r_1=2$ Ом, $\mathcal{E}_2=6$ В, $r_2=1,5$ Ом/ и реостат $r=10$ Ом/ соединены, как показано на рисунке 11. Вычислить силу тока, текущего через реостат.

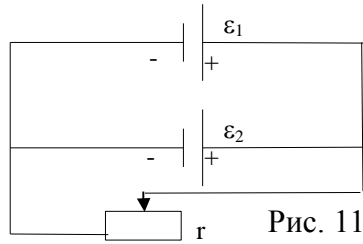


Рис. 11

97. Три сопротивления $r_1=5$ Ом, $r_2=1$ Ом, $r_3=3$ Ом, а также источник тока $\mathcal{E}_1=1,4$ В соединены, как показано на рисунке 12. Определить ЭДС источника тока, который надо подключить в цепь между точками А и В, чтобы через сопротивление r_3 шел ток силой 1 А в направлении, указанном стрелкой. Сопротивлением источника тока пренебречь.

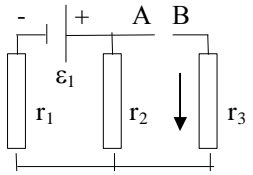


Рис.12

98. ЭДС батареи 12 В, сила тока короткого замыкания 5 А. Какую наибольшую мощность может дать батарея во внешней цепи?

99. ЭДС батареи 20 В. Сопротивление внешней цепи 2 Ом, сила тока 4 А. С каким КПД работает батарея?

100. К зажимам аккумуляторов присоединен нагреватель. ЭДС батареи 24 В, внутреннее сопротивление 1 Ом. Нагреватель, включенный в цепь, потребляет мощность 80 Вт. Вычислить силу тока в цепи и КПД нагревателя.

101. Внутреннее сопротивление гальванометра 680 Ом. Как и какое сопротивление нужно подключить к нему, чтобы можно было измерить ток силой 2,5 А? Шкала гальванометра рассчитана на 300 мкА.

102. При внешнем сопротивлении $R_1=3$ Ом ток в цепи $I_1=0,3$ А, при $R_2=5$ Ом, $I_2=0,2$ А. Определить ток короткого замыкания источника.

103. Какой следует взять диаметр медного провода, чтобы падение напряжения на нем на расстоянии 1400 м равнялось 1 В при токе в 1 А.

104. Батарея включена на сопротивление $R=10$ Ом и дает ток силой $I_1=3$ А. Если ту же батарею включить на сопротивление $R_2=20$ Ом, то сила тока будет $I_2=1,6$ А. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление батареи.

105. Имеется прибор с ценой деления 10 мкА. Шкала прибора имеет 100 делений, внутреннее сопротивление 100 Ом. Как из этого прибора сделать вольтметр для измерения напряжений до 100 В или амперметр для измерения тока до 1 А?

106. В цепи постоянного тока $\mathcal{E}=10$ В, $R_1=5$ Ом, $R_2=R_3=1$ Ом, $R_4=R_5=3$ Ом. Найти силы токов в каждой ветви. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. См. рис. 13.

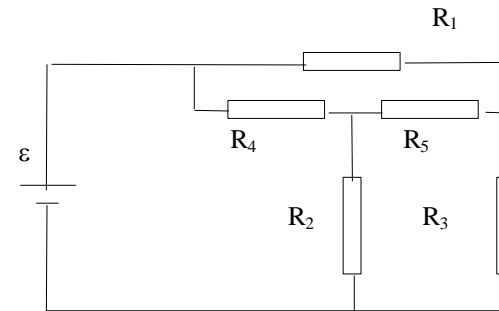


Рис.13

107. Определить плотность тока в медной проволоке длиной 10 м, если разность потенциалов на ее концах 12 В.

108. Рассчитать длину хромовой спирали для электрической плитки, на которой за 8 минут можно было бы довести до кипения 2 л воды; начальная температура воды 20°C , КПД установки 60% , диаметр проволоки $8 \cdot 10^{-4}$ м,

напряжение 220 В, удельное сопротивление нихрома 10^{-6} Ом·м.

109. Аккумулятор с внутренним сопротивлением 0,08 Ом при токе 4А отдаст во внешнюю цепь 8 Вт. Какую мощность отдаст он во внешнюю цепь при токе в 6 А?

110. Определить количество меди, нужное для устройства двухпроводной линии длиной 5 км. Напряжение на шинах станции 2400 В. Передаваемая потеря напряжения в проводнике 8%, удельный вес меди 8900 кг/м^3 , удельное сопротивление $0,017 \cdot 10^{-6}$ Ом·м.

111. Два аккумулятора с одинаковым внутренним сопротивлением 0,050 м и $E_1=1,8 \text{ В}$; $E_2=2 \text{ В}$ включены параллельно в качестве источников в цепь, сопротивление которой 2 Ом. Найти токи во внешней цепи и в каждом аккумуляторе.

112. Элементы цепи, схема которой изображена на рисунке 14, имеют следующие значения: $E_1=1,5 \text{ В}$; $E_2=1,6 \text{ В}$; $R_1=1 \text{ кОм}$, $R_2=2 \text{ кОм}$. Определить показание вольтметра, если его сопротивление 2 кОм.

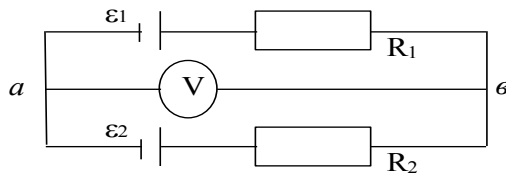


Рис.14

113. Определить суммарный импульс электронов в прямом проводе длиной 10 км при силе тока 400 А.

114. Два источника с различными ЭДС и внутренними сопротивлениями включены параллельно с сопротивлением. Чему равен ток через это сопротивление? См рис.15.

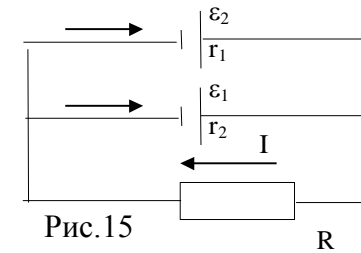


Рис.15

115. Определить удельное сопротивление проводника длиной 2 м, если при плотности тока 10^6 А/м^2 на его концах поддерживается разность потенциалов 2 В.

116. Какая мощность выделяется в единице объема проводника длиной 0,2 м, если на его концах поддерживается разность потенциалов 4В? $\rho=10^{-6}$ Ом·м/.

117. Сопротивление цепи, данные которой приведены на рисунке 16, подобраны так, что ток через батарею с E_1 не идет. Чему равны напряжение U_2 на зажимах сопротивления R_2 и сила тока I_3 через сопротивление R_3 ? Внутренними сопротивлениями батарей пренебречь.

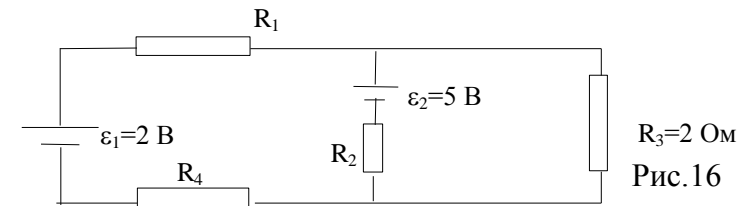


Рис.16

118. Элементы E_1 и E_2 включены в цепь, показано на рисунке 17. Определить силы токов, текущих в сопротивлениях r_1 и r_2 , если $\epsilon_1=10 \text{ В}$, $\epsilon_2=4 \text{ В}$,

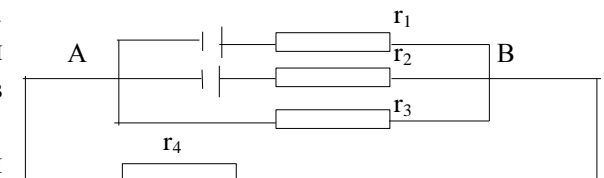


Рис.17.

$r_1=r_2=2$ Ом. Сопротивлением элементов пренебречь $r_2=r_3=4$ Ом.

119. Два элемента $\varepsilon_1=1,2$ В, $r_1=0,1$ Ом, $\varepsilon_2=0,9$ В, $r_2=0,3$ Ом соединены одноименными полюсами, сопротивление соединительных проводов $0,2$ Ом. Определить силу тока в цепи.

120. Три источника тока с $\varepsilon_1=11$ В, $\varepsilon_2=4$ В, $\varepsilon_3=6$ В и три реостата с сопротивлением $r_1=5$ Ом, $r_2=10$ Ом, $r_3=2$ Ом, соединены как показано на рисунке. Определить силу тока в реостатах. Внутренним сопротивлением источников пренебречь.

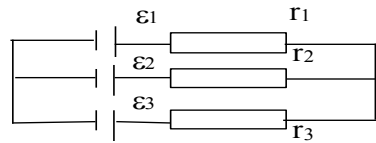


Рис.18

121. Лампочка и реостат, соединенные последовательно, присоединены к источнику тока. Напряжение на зажимах лампочки 40 В, сопротивление реостата 10 Ом. Внешняя цепь потребляет мощность 120 Вт. Найти силу тока в цепи.

122. Плотность тепловой мощности тока в нихромовом проводнике равна $1,110$ Дж/м³с. Определить плотность электрического тока.

123. Три гальванических элемента с ЭДС $1,3$; $1,4$; $1,5$ В и с внутренним сопротивлением $0,3$ Ом каждый соединены параллельно и замкнуты внешним сопротивлением $0,6$ Ом. Определить ток в каждом элементе.

124. Определить суммарный импульс электронов в прямом проводе $l=10$ км при токе силой $I=400$ А.

125. Трамвайный вагон потребляет ток 100 А при напряжении 600 В и развивает силу тяги 3000 Н. Определить скорость движения трамвая на горизонтальном участке пути, если КПД электродвигателя трамвая 80% .

126. Через аккумулятор с внутренним сопротивлением r и ЭДС ε течет ток силой I . Чему равна разность потенциалов на клеммах аккумулятора.

127. Вольтметр с сопротивлением $R_1=100$ Ом, подключенный к клеммам элемента, показывает разность потенциалов $U=20$ В. При замыкании этого элемента на сопротивлении $R=15$ Ом включенный в цепь амперметр показывает силу тока $I=0,1$ А. Найти ЭДС элемента, если сопротивление амперметра $R_2=1$ Ом.

128. Из одинаковых по сечению S и удельному сопротивлению проводников спаян прямоугольник ABCD с диагональю AC, сделанной из проволоки такого же сечения и материала. Найти сопротивление между точками A и B и сопротивление между точками C и D, если $AD=BC=a$; $AB=CD=b$; $AB=CD$.

129. Каким сопротивлением должен обладать электроизмерительный прибор, чтобы его можно было использовать, либо в качестве вольтметра с пределом измерения $U=15$ В, либо в качестве миллиамперметра с пределом измерения $I=7,5$ А?

130. Определить температуру t нити лампочки, если при включении в сеть с напряжением $U=220$ В по нити идет ток $I=0,68$ А. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при $t=20^{\circ}\text{C}$, $R=36$ Ом. Температурный коэффициент сопротивления вольфрама $\alpha=4,6 \cdot 10^{-3}$ 1/К.

131. На цоколе лампочки накаливания с вольфрамовой нитью накала написано: 120 В, 60 Вт. При изменении сопротивления этой лампочки в холодном состоянии на мостике Уитстона оказалось, что оно равно всего 20 Ом. Какова нормальная температура накала нити, если температурный коэффициент вольфрама $\alpha=5 \cdot 10^{-3}$ 1/К?

132. Сопротивление электролампочки 120 В, 100 Вт в накаленном состоянии больше, чем в холодном в 10 раз.

Найти сопротивление в холодном состоянии и температурный коэффициент сопротивления α , если температура накалила нити 2000°C .

133. Какой следует взять диаметр d медного провода, чтобы падение напряжения в нем на расстоянии 1,4 км равнялось 1 В при токе 1 А?

134. Электрическая цепь состоит из трех кусков провода одинаковой длины и сделанных из одинакового материала, соединенных последовательно. Сечение всех трех кусков различно: 1, 2, 3 мм^2 . Разность потенциалов на концах цепи 12 В. Определить падение напряжения на каждом проводнике.

135. Каково сопротивление R отрезка медного провода диаметром 2 мм, если масса всего отрезка 8,893 кг? Удельное сопротивление меди $\rho=0,017 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и плотность $D=8,93 \text{ г/см}^3$.

136. Сопротивление $R=2000 \text{ Ом}$ состоит из двух последовательно соединенных частей. Первое сопротивление (угольное) имеет температурный коэффициент сопротивления $\alpha_1=-0,01 \text{ 1/К}$, а второе (проволочное) температурный коэффициент $\alpha_2=0,02 \text{ 1/К}$. Какой величины следует выбрать угольное и проволочное сопротивления, чтобы суммарное сопротивление цепи не зависело от температуры?

137. Определить сопротивление цепи. См. рис.19.

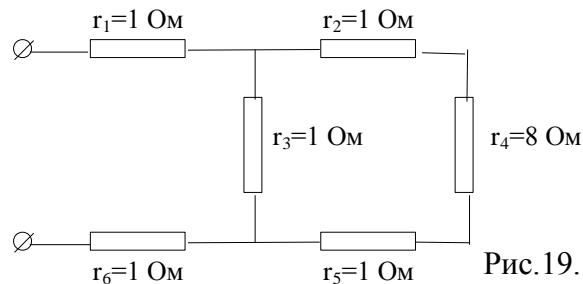


Рис.19.

138. К проволочному кольцу в двух точках присоединены подводящие ток проволоки. В каком отношении делят точки присоединения длину окружности кольца, если общее сопротивление получившейся цепи в 4,5 раза меньше сопротивления проволоки, из которой сделано кольцо?

139. На сколько равных частей нужно разрезать однородный проводник сопротивлением 36 Ом, чтобы сопротивление его частей, соединенных параллельно, было $R=1 \text{ Ом}$?

140. Как надо соединить четыре проводника, сопротивлением которых $r_1=1 \text{ Ом}$, $r_2=2 \text{ Ом}$, $r_3=3 \text{ Ом}$, $r_4=4 \text{ Ом}$, чтобы получить сопротивление $R=2,5 \text{ Ом}$.

141. Определить проводимость электрической цепи, состоящей из двух последовательных групп параллельно включенных проводников. Провода первой группы имеют проводимость $K=0,5 \text{ Ом}$ каждый, а провода второй по $K=0,25 \text{ Ом}$ каждый. Первая группа состоит из четырех проводников, вторая - из двух.

142. Реостат из железной проволоки, миллиамперметр и источник ЭДС включены последовательно. При температуре 0°C сопротивление реостата $R_0=200 \text{ Ом}$. Сопротивление миллиамперметра $r=20 \text{ Ом}$. Показание миллиамперметра $I_0=30 \text{ А}$. Что будет показывать миллиамперметр, если реостат нагреется на 50°C ? Температурный коэффициент сопротивления железа $\alpha=6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/К}$. Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

143. Два проводника с одинаковым сопротивлением R соединены последовательно с источником, ЭДС которого ε . Какова будет разница в показаниях вольтметра с внутренним сопротивлением R и $10R$, если их поочередно подключить к концам одного из проводников? Внутренним сопротивлением источника пренебречь.

144. При 0°C сопротивление проводника R_1 в n раз меньше сопротивления проводника R_2 . Их температурные коэффициенты сопротивления равны α_1 и α_2 . Найти температурный коэффициент сопротивления участка цепи, состоящего из этих двух проводников, если они соединены: а) последовательно; б) параллельно.

145. Зазор между пластинами плоского конденсатора заполнен неоднородной слабо проводящей средой, удельная проводимость которой изменяется в направлении, перпендикулярном к пластинам, по линейному закону от $\sigma_1=1$ пСм/м до $\sigma_2=2$ пСм/м. Площадь каждой пластины $S=230$ см², ширина зазора $d=2$ мм. Найти ток через конденсатор при напряжении в нем $U=200$ В.

146. Найти ток, протекающий через сопротивление R участка цепи, если сопротивление $R_1=10$ Ом, $R_2=20$ Ом, $R_3=30$ Ом и потенциалы точек 1,2,3 равны соответственно $\varphi_1=10$ В, $\varphi_2=6$ В, $\varphi_3=5$ В.

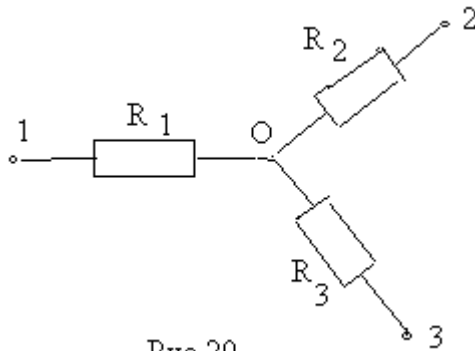


Рис.20.

147. Определить плотность тока в медной проволоке длиной $l=10$ м, если разность потенциалов на ее концах $\varphi_1-\varphi_2=12$ В.

148. На рисунке показана схема потенциометра, с помощью которого можно менять напряжение U , подаваемое на некоторый прибор с сопротивлением R . Потенциометр имеет длину l , сопротивление R_0 и находится под напряжением. Найти напряжение U , снимаемое на прибор, как функцию расстояния X . Исследовать отдельно случай $R \gg R_0$.

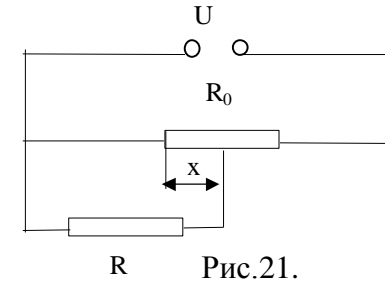


Рис.21.

метр имеет длину l , сопротивление R_0 и находится под напряжением. Найти напряжение U , снимаемое на прибор, как функцию расстояния X . Исследовать отдельно случай $R \gg R_0$.

149. Два последовательно соединенных источника тока одинаковой ЭДС имеют различные внутренние сопротивления R_1 и R_2 , причем $R_2 > R_1$. Найти внешнее сопротивление R , при котором разность потенциалов на клеммах одного из источников (какого именно) станет равна нулю.

150. Два цилиндрических проводника одинакового сечения, но с разными удельными сопротивлениями ρ_1 и ρ_2 , прижаты торцами друг к другу. Найти заряд на границе раздела данных проводников, если в направлении от проводника 1 к проводнику 2 течет ток.

Литература

1. Чертов А.Г., Воробьев А.А., Федоров М.Ф. Задачник по физике. М.:Высшая школа, 1973.
2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1985.

№ ва- рианта	№ задач				
	1	1	31	61	91
2	2	32	62	92	122
3	3	33	63	93	123
4	4	34	64	94	124
5	5	35	65	95	125
6	6	36	66	96	126
7	7	37	67	97	127
8	8	38	68	98	128
9	9	39	69	99	129
10	10	40	70	100	130
11	11	41	71	101	131
12	12	42	72	102	132
13	13	43	73	103	133
14	14	44	74	104	134
15	15	45	75	105	135
16	16	46	76	106	136
17	17	47	77	107	137
18	18	48	78	108	138
19	19	49	79	109	139
20	20	50	80	110	140
21	21	51	81	111	141
22	22	52	82	112	142
23	23	53	83	113	143
24	24	54	84	114	144
25	25	55	85	115	145
26	26	56	86	116	146
27	27	57	87	117	147
28	28	58	88	118	148
29	29	59	89	119	149
30	30	60	90	120	150