

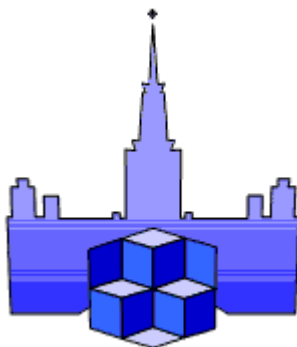
# ФИЗИКА

## СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Часть III  
Электростатика

Часть IV  
Постоянный ток

Составитель **Т.П. Корнеева**



Школа имени А.Н. Колмогорова  
2012



# **СБОРНИК ЗАДАЧ по ФИЗИКЕ**

## **Часть III ЭЛЕКТРОСТАТИКА**

## **Часть IV ПОСТОЯННЫЙ ТОК**

**Составитель Т.П.Корнеева**

**Школа им. А.Н. Колмогорова  
2012 г.**

**Корнеева Т.П.**

**Сборник задач по физике.**

Часть III. Электростатика.

Часть IV. Постоянный ток.

Издание третье, исправленное и дополненное.

Школа им. А.Н. Колмогорова, 2012. – 69 с.

Настоящий сборник составлен на основе задач, известных как «классические», и используемых в течение многих лет при проведении семинарских занятий в физико-математической школе при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова (ныне СУНЦ МГУ, школа имени А.Н. Колмогорова). Наряду с ними в сборник входят задачи, предлагавшиеся в разные годы на вступительных экзаменах в ВУЗы и олимпиадах различного уровня.

Задачи снабжены ответами, за исключением тех, где решение носит качественный характер. Задачи, отмеченные знаком \*, требуют, как правило, более глубокого понимания физической сущности описываемых явлений, привлечения сведений из других разделов физики, а также предполагают владение более сложным математическим аппаратом.

## ЭЛЕКТРОСТАТИКА

При решении задач используйте следующие значения фундаментальных физических постоянных:

Заряд электрона	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Удельный заряд электрона	$\frac{e}{m_e} = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
Электрическая постоянная	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9$ Нм <sup>2</sup> /Кл <sup>2</sup>

### *Закон Кулона*

**16.1.** С какой силой будут притягиваться два одинаковых свинцовых шарика радиусом  $r = 1$  см, расположенные на расстоянии  $R = 1$  м друг от друга, если у каждого атома первого шарика отнять по одному электрону и все эти электроны перенести на второй шарик?

Атомная масса свинца  $A = 207$  а.е.м.,  
плотность свинца  $\rho = 11,3$  г/см<sup>3</sup>.

**16.2.** Заряженные шарики, находящиеся друг от друга на расстоянии  $L = 2$  м, отталкиваются с силой  $F = 1$  Н. Общий заряд шариков  $Q = 5 \cdot 10^{-5}$  Кл. Как распределен этот заряд между шариками?

**16.3.** Два маленьких, проводящих, одинаковых по размеру заряженных шарика, находящиеся на расстоянии  $0,2$  м друг от друга, притягиваются с силой  $F_1 = 4 \cdot 10^{-3}$  Н. Будучи приведены в соприкосновение, а затем разведены на прежнее расстояние, шарики стали отталкиваться с силой  $F_2 = 2,25 \cdot 10^{-3}$  Н. Определить первоначальные заряды шариков.

**16.4.** Два одинаковых маленьких заряженных шарика, подвешенные на нитях одинаковой длины к одному крючку, опускаются в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был один и тот же?

Диэлектрическая проницаемость керосина  $\varepsilon = 2$ , плотность керосина  $\rho = 0,8 \text{ г/см}^3$ .

**16.5.** Два одинаковых маленьких проводящих шарика подвешены на очень длинных непроводящих нитях к одному крючку. Шарика заряжены одинаковыми зарядами и находятся на расстоянии  $a = 5 \text{ см}$  друг от друга. Один из шариков разрядили. Каким стало расстояние между шариками?

**16.6.** Три одинаковых одноименных заряда  $q$  расположены в вершинах равностороннего треугольника. Какой заряд  $q_1$  нужно поместить в центре этого треугольника, чтобы результирующая сила, действующая на каждый заряд, была равна нулю? Будет ли равновесие устойчивым?

**16.7.\*** Внутри гладкой диэлектрической сферы находится маленький заряженный шарик. Какой величины заряд нужно поместить в нижней точке сферы, чтобы шарик устойчиво удерживался в её верхней точке?

Диаметр сферы  $d$ , заряд шарика  $q$ , его масса  $m$ .

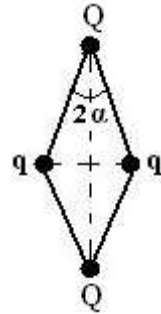
**16.8.** Два маленьких тела с одинаковыми зарядами, равными  $q = 10^{-5} \text{ Кл}$ , расположены на внутренней поверхности гладкой непроводящей сферы радиусом  $R = 1 \text{ м}$ . Первое тело закреплено в нижней точке сферы, а второе может свободно скользить по её поверхности.

Найти массу второго тела, если известно, что в состоянии равновесия оно находится на высоте  $h = 10 \text{ см}$  от нижней точки сферы

**16.9.\*** В одной из моделей иона  $\text{H}_2^+$  электрон движется по круговой орбите, лежащей в плоскости, перпендикулярной к линии, соединяющей протоны. Скорость, с которой электрон движется по орбите, равна  $V$ . Найдите расстояние между протонами  $R$ .

**16.10.** На тонком проволочном кольце, имеющем радиус  $R$ , находится электрический заряд  $q$ . В центре кольца расположен одноименный с  $q$  заряд  $Q$ , причем  $Q \gg q$ . Определить силу, с которой растянуто кольцо.

**16.11.** В четырех точках замкнутой нерастяжимой непроводящей нити на равных расстояниях закреплены четыре одноименных заряда  $Q, q, Q, q$ . В положении равновесия нить принимает форму ромба. Найдите угол ромба при вершине  $Q$ .

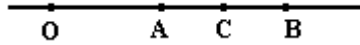


***Напряженность и потенциал электрического поля.  
Теорема Гаусса.***

**17.1.** Одинаковые по модулю, но разные по знаку заряды величиной  $|q| = 18$  нКл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a = 2$  м. Найти напряженность электрического поля  $E$  в третьей вершине треугольника.

**17.2.** При напряженности электрического поля  $3 \cdot 10^6$  В/м воздух перестает быть надежным изолятором, и в нем происходит искровой разряд. Каким должен быть радиус шара, чтобы на нем мог удержаться заряд в 1 Кл?

**17.3.** В точке А напряженность поля, создаваемого точечным зарядом, находящимся в точке О, равна  $E_1 = 36$  В/м, а в точке В напряженность равна  $E_2 = 9$  В/м. Найти напряженность поля в точке С, лежащей посередине между точками А и В.



**17.4.** Потенциалы точек А и В поля точечного заряда, находящегося в точке О (Рис. 17.3.), равны 30 В и 20 В. Найти потенциал точки С, лежащей посередине между точками А и В.

**17.5.** Найти напряженность электрического поля диполя с моментом  $P = qL$  в точке, находящейся на расстоянии  $r$  от диполя ( $r \gg L$ ), в двух случаях:

- а) точка лежит на прямой, проходящей через ось диполя;
- б) точка лежит на прямой, перпендикулярной оси диполя.

**17.6.** Полый шар равномерно заряжен электричеством. В центре шара потенциал равен 100 В, а на расстоянии 30 см от центра шара потенциал равен 50 В. Каков радиус шара?

**17.7.** Электрическое поле создано двумя равномерно заряженными концентрическими сферами. Радиусы сфер  $R_1$  и  $R_2$ , заряды сфер равны  $Q_1$  и  $Q_2$ . Найти напряженность и потенциал поля во всем пространстве. Нарисовать графики.

Рассмотреть случаи:

- а)  $Q_1, Q_2 > 0$ ;      б)  $Q_1, Q_2 < 0$ ;
- в)  $Q_1 > 0, Q_2 < 0$ ;      г)  $Q_1 < 0, Q_2 > 0$ .

**17.8.** Построить примерные графики изменения напряженности и потенциала поля вдоль линии, проходящей через два точечных заряда, находящихся на расстоянии  $2d$  друг от друга. Величины зарядов равны:

- а)  $+q$  и  $-q$ ;      б)  $+q$  и  $+q$ ;      в)  $+q$  и  $-3q$ .



**17.9.** Металлическое кольцо радиуса  $R$  имеет заряд  $q$ . Чему равны напряженность поля и потенциал:

*a)* в центре кольца;

*б)* на расстоянии  $x$  от центра вдоль оси, перпендикулярной к плоскости кольца?

Построить графики функций  $E(x)$ ,  $\varphi(x)$ .

**17.10.** Используя теорему Гаусса, найдите напряженность электрического поля в следующих случаях:

*a)* внутри и вне равномерно заряженной сферы радиуса  $R$ , если заряд сферы равен  $Q$ ;

*б)* равномерно заряженной бесконечной нити, если заряд единицы длины нити равен  $\gamma$ ;

*в)* равномерно заряженной бесконечной плоскости, если поверхностная плотность заряда равна  $\sigma$ .

**17.11.** В пространстве между двумя бесконечными параллельными плоскостями находится заряженный слой с постоянной объемной плотностью заряда  $\rho$ . Толщина слоя  $a$ . Найдите зависимость напряженности электрического поля от расстояния, отсчитанного от середины слоя. Найдите разность потенциалов между серединой слоя и точкой, находящейся на расстоянии  $x$  от нее.

**17.12.** Внутри шара радиуса  $R$  имеется объемный заряд постоянной плотности  $\rho$ . Найти зависимость напряженности и потенциала электрического поля от расстояния до центра шара.

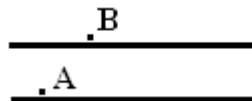
**17.13.** Найти напряженность электрического поля внутри и вне бесконечно длинного цилиндра, заряженного с объемной плотностью  $\rho$ . Радиус цилиндра  $R$ .

Найдите разность потенциалов между осью цилиндра и точкой, находящейся на расстоянии  $r$  от нее.

**17.14.** Чему равна напряженность электрического поля, создаваемого двумя параллельными бесконечными равномерно заряженными плоскостями, имеющими поверхностную плотность заряда  $\sigma$ ? Чему равна разность потенциалов между пластинами?

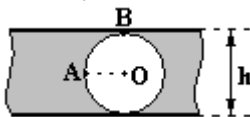
Рассмотреть случаи одноименного и разноименного заряда.

**17.15.** Равномерно заряженные пластины находятся на небольшом расстоянии друг от друга. Найти плотность заряда на каждой пластине, зная, что  $E_A = 3000 \text{ В/м}$  и  $E_B = 1000 \text{ В/м}$ . (Точки А и В лежат вблизи пластин.)



**17.16.** В шаре, равномерно заряженном с объемной плотностью  $\rho$ , вырезали сферическую полость радиуса  $r$ , центр которой находится на расстоянии  $a$  от центра шара. Найдите напряженность электрического поля в точках, расположенных вдоль прямой, соединяющей центр полости и центр шара. Радиус шара  $R$ . Докажите, что электрическое поле в полости однородно.

**17.17.** В равномерно заряженной бесконечной пластине вырезали сферическую полость так, как показано на рисунке. Толщина пластины  $h$ , объемная плотность заряда  $\rho$ . Чему равна напряженность электрического поля в точках А и В? Найдите напряженность поля в точках, лежащих на отрезке ОА.



**17.18.\*** Оцените среднюю плотность электрических зарядов в земной атмосфере, если известно, что напряженность электрического поля на поверхности Земли равна  $100 \text{ В/м}$ , а на высоте  $1,5 \text{ км}$  –  $25 \text{ В/м}$ .

## *Проводники и диэлектрики в электрическом поле.*

**18.1.** В однородное электрическое поле с напряженностью  $E$  внесли тонкую металлическую пластинку, расположив ее перпендикулярно линиям поля. Какой заряд индуцируется на каждой стороне пластинки, если ее площадь равна  $S$ ?

**18.2.** Расстояние между двумя металлическими шарами велико по сравнению с их размерами. Первый шар имеет радиус  $R_1$  и заряжен до потенциала  $\varphi_1$ , а второй имеет радиус  $R_2$  и заряжен до потенциала  $\varphi_2$ . Каким будет потенциал этих шаров, если соединить их тонкой проволокой?

**18.3.** Два полых металлических шара расположены концентрично один в другом. На каждом шаре находится заряд  $Q$ . Какие заряды находятся на внутренней и внешней поверхностях большого шара?

**18.4.** Две параллельные металлические пластинки с площадью  $S$  каждая имеют заряды  $q_1$  и  $q_2$  одного знака. Пренебрегая краевыми эффектами, определите поверхностную плотность зарядов на каждой из сторон пластин.

**18.5.** Три концентрические проводящие сферы имеют радиусы  $R$ ,  $2R$  и  $3R$  и заряды  $+Q$ ,  $+2Q$  и  $-3Q$  соответственно. Определите потенциал каждой сферы.

**18.6.** Металлический шар радиусом  $R_1$ , заряженный до потенциала  $\varphi$ , окружают сферической проводящей оболочкой радиусом  $R_2$ . На какую величину изменится потенциал шара после того, как он будет на короткое время соединен проводником с оболочкой?

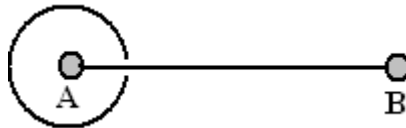
**18.7.** Металлический шар радиусом  $R_1$ , заряженный до потенциала  $\varphi$ , окружают концентрической сферической проводящей оболочкой радиусом  $R_2$ . Чему станет равен потенциал шара, если заземлить внешнюю оболочку?

**18.8.** В системе из двух концентрических проводящих сфер внутренняя радиусом  $R$  заземлена. Внешняя имеет радиус  $2R$  и ее потенциал равен  $\varphi$ . Найдите заряды сфер.

**18.9.** Из трех концентрических очень тонких металлических сфер с радиусами  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  крайние заземлены, а средней сообщен заряд  $q$ . Найти напряженность электрического поля во всех точках пространства.

**18.10.** Три незаряженные концентрические проводящие сферы радиусами  $r$ ,  $2r$  и  $3r$  находятся в вакууме. В центр сфер поместили точечный заряд  $q$ , а затем среднюю сферу заземлили тонким длинным изолированным проводом, пропущенным в небольшое отверстие в сфере радиусом  $3r$ . Найти разность потенциалов между внутренней и наружной сферами.

**18.11.** Металлическая сфера, имеющая небольшое отверстие, заряжена положительным зарядом  $Q$ . Металлические шарики  $A$  и  $B$  соединены проволокой и расположены, как показано на рисунке. Радиус каждого шарика  $r$ , радиус сферы  $R$ , расстояние  $AB$  в десятки раз больше  $R$ . Найти заряды, индуцированные на шариках.

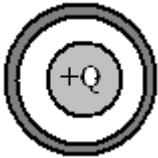


**18.12.** На расстоянии  $r$  от центра изолированного металлического незаряженного шара радиуса  $R$  находится точечный заряд  $q$ . Определить потенциал шара, если  $r > R$

**18.13.** На расстоянии  $r$  от центра заземленного металлического шара радиуса  $R$  находится точечный заряд  $q$ . Определить величину заряда, индуцированного на шаре.

**18.14.** Шар, равномерно заряженный зарядом  $q$ , помещают в однородный изотропный безграничный диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной  $\epsilon$ . Определить поляризационный заряд на границе диэлектрика с шаром.

**18.15.** Металлический заряженный шар помещен в центре сферического слоя, изготовленного:



*a)* из металла;

*б)* из диэлектрика с проницаемостью  $\epsilon = 2$ .  
Начертить графики зависимости напряженности поля от расстояния до центра шара.

**18.16.** Пространство между двумя концентрическими сферами радиусов  $R_1$  и  $R_2$  заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . В центре сфер находится точечный заряд  $+Q$ . Найти напряженность и потенциал электрического поля как функцию расстояния от центра сфер, а также величину поляризационных зарядов на поверхности диэлектрика.

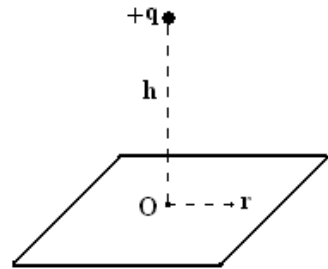
**18.17.** Две расположенные параллельно металлические пластины заряжены зарядами  $+q$  и  $-q$ . Пространство между пластинами заполнено однородным изотропным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Какова плотность поляризационных зарядов на поверхности диэлектрика, если площадь пластин  $S$ ?

**18.18.** Плоский конденсатор, пластины которого заряжены зарядами  $+q$  и  $-q$ , на половину высоты пластин погружен в жидкость с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ .

Какова плотность поляризацонных зарядов на поверхности диэлектрика, если площадь пластин  $S$ ?

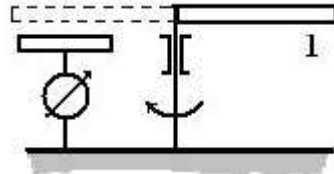
**18.19.\*** На высоте  $h$  над бесконечной проводящей плоскостью находится точечный заряд  $+q$ .

Найдите поверхностную плотность заряда, индуцированного на плоскости, в зависимости от расстояния до основания перпендикуляра, опущенного на плоскость из точки нахождения заряда.



**18.20.** Для измерения напряженности собственного электрического поля у поверхности Земли используют устройство из двух металлических пластин. Нижняя пластина с площадью  $S = 1,2 \text{ м}^2$  расположена на небольшом расстоянии от поверхности Земли и через гальванометр заземлена. Верхняя пластина тоже заземлена и может вращаться вокруг вертикальной оси.

Сначала верхняя пластина расположена в положении 1. Затем ее поворачивают так, что она



полностью закрывает нижнюю пластину. За время поворота через гальванометр прошел заряд  $Q = 2,1 \cdot 10^{-9}$  Кл. Чему равна по данным опыта напряженность поля Земли?

*Движение заряженных частиц в электрическом поле.  
Взаимодействие заряженных тел.*

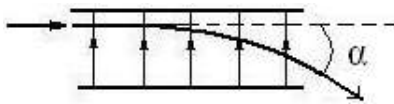
**19.1.** Электрон, двигавшийся со скоростью  $5 \cdot 10^6$  м/с, влетает в параллельное его движению электрическое поле напряженностью  $10^3$  В/м.

Какое расстояние пройдет электрон в этом поле до остановки и сколько времени ему для этого потребуется?

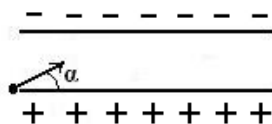
**19.2.** С какой скоростью электроны достигают анода электронной лампы, если напряжение между катодом и анодом равно 200 В? Начальная скорость электронов достаточно мала.

**19.3.** Электрон вылетает со скоростью  $V = 12 \cdot 10^6$  м/с из точки, потенциал которой равен  $\phi_1 = 600$  В, в направлении силовых линий поля. Определить потенциал точки, дойдя до которой электрон остановится.

**19.4.** Электрон, летящий со скоростью  $V$ , попадает в однородное поле заряженного конденсатора, перпендикулярное направлению его движения, и вылетает из него, отклонившись на угол  $\alpha$ . Найти напряженность поля конденсатора, если длина пластин равна  $L$ .

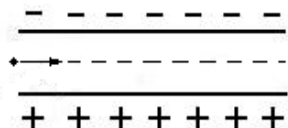


**19.5.** Электрон, обладающий энергией  $W = 1,5$  кэВ, влетает в плоский конденсатор длиной  $L = 5$  см под углом  $\alpha = 15^\circ$  к пластинам.



Расстояние между пластинами  $d = 1$  см. Определить величину напряжения на конденсаторе  $U$ , при котором электрон при выходе из пластин будет двигаться параллельно им.

**19.6.** Пылинка, имеющая массу  $m = 10^{-8}$  г и заряд  $q = 1,8 \cdot 10^{-14}$  Кл, влетает в середину заряженного конденсатора. Длина пластин конденсатора  $L = 10$  см, расстояние между пластинами  $d = 1$  см, напряжение на пластинах  $U = 5$  кВ. Чему должна быть равна минимальная скорость пылинки  $V_0$ , чтобы она смогла пролететь конденсатор насквозь? Система находится в вакууме, влиянием силы тяжести пренебречь.



**19.7.** Протон и  $\alpha$ -частица, двигаясь с одинаковой скоростью, влетают в плоский конденсатор параллельно пластинам и вылетают из него. Во сколько раз отклонение протона от первоначального направления на выходе из конденсатора будет больше отклонения  $\alpha$ -частицы?

**19.8.** «Опыт Милликена». Внутри плоского незаряженного конденсатора, пластины которого расположены горизонтально на расстоянии  $d = 2$  см, падает положительно заряженная пылинка. Вследствие сопротивления воздуха пылинка движется равномерно, проходя некоторый путь за время  $t_1 = 10$  с. Когда на пластины конденсатора подали напряжение  $U = 980$  В, пылинка начала равномерно двигаться вверх, пройдя тот же путь за время  $t_2 = 5$  с. Определить отношение заряда пылинки к ее массе.

**19.9.** Имеются два точечных заряженных тела, имеющих заряды  $-q$  и  $+Q$  и массы  $m$  и  $M$  соответственно. На каком расстоянии  $d$  друг от друга должны быть расположены эти тела, чтобы во внешнем однородном электрическом поле с напряженностью  $E$ , направленном вдоль прямой, проходящей через заряды, они ускорились как одно целое (т.е. не изменяя взаимного расположения)?



**19.10.\*** Сферическая оболочка радиуса  $R$  заряжена равномерно зарядом  $Q$ . Найти растягивающую силу, приходящуюся на единицу площади оболочки.

**19.11.** С какой силой притягиваются друг к другу две разноименно заряженные параллельные пластины с поверхностной плотностью заряда  $\pm \sigma$ ? Площадь каждой пластины  $S$ , расстояние между ними много меньше их размеров. Чему равна сила, действующая на единицу поверхности пластины?

**19.12.** Две расположенные параллельно металлические пластины заряжены зарядами  $+q$  и  $-q$ . Пространство между пластинами заполнено однородным изотропным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , площадь пластин  $S$ . Определите силу, действующую на единицу площади поверхности диэлектрика.

**19.13.** К источнику постоянного напряжения подключены пластины плоского воздушного конденсатора. При этом пластины взаимодействуют с силой, равной  $F_0$ . С какой силой будут взаимодействовать эти пластины, если в зазор между ними ввести (без перекоса) металлическую пластинку, толщина которой в два раза меньше величины зазора, а остальные размеры пластинки и пластин совпадают?

**19.14.** К источнику постоянного напряжения подключены пластины плоского воздушного конденсатора. При этом пластины взаимодействуют с силой, равной  $F_0$ . С какой силой будут взаимодействовать эти пластины, если в зазор между ними ввести диэлектрическую пластинку, толщина которой равна величине зазора, а остальные размеры пластинки и пластин совпадают? Диэлектрическая проницаемость пластинки  $\epsilon = 3$ .

**19.15.** На расстоянии  $d$  от большой проводящей пластины находится точечный электрический заряд  $+q$ . С какой силой действует на него пластина?

**19.16.** На какую величину изменится энергия электрического поля двух точечных зарядов  $Q$ , удаленных друг от друга на большое расстояние, при сближении их на расстояние, равное  $a$ ?

**19.17.** Два точечных заряда величиной  $q_1 = 6,6 \cdot 10^{-9}$  Кл и  $q_2 = 1,32 \cdot 10^{-8}$  Кл находятся на расстоянии  $r_1 = 40$  см. Какую надо совершить работу, чтобы сблизить их до расстояния  $r_2 = 25$  см?

**19.18.** Четыре одноименных точечных заряда величиной  $q$  были расположены вдоль одной прямой на расстоянии  $r$  друг от друга. Какую работу надо совершить, чтобы поместить их в вершинах тетраэдра с ребром, равным  $r$ ?

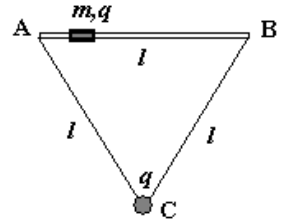
**19.19.** Два электрона, находящиеся на бесконечно большом расстоянии один от другого, начинают двигаться навстречу друг другу, причем скорости их в этот момент одинаковы по величине и противоположны по направлению. Определить наименьшее расстояние между электронами, если величина начальной скорости  $V_0 = 10^6$  м/с.

**19.20.** Два электрона находятся на бесконечно большом расстоянии один от другого, причем один электрон вначале покоится, а другой имеет скорость  $V = 10^6$  м/с, направленную вдоль линии, соединяющей заряды. Определить наименьшее расстояние, на которое они сблизятся.

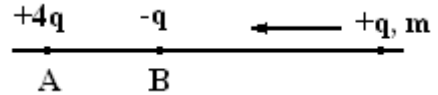
**19.21.** Из бесконечности к металлической заземленной пластине движется точечный заряд  $+q$ . Определить энергию взаимодействия заряда и пластины в тот момент, когда он будет находиться на расстоянии  $d$  от пластины.

**19.22.** С какой скоростью пролетит через центр кольца электрон, втягиваемый в кольцо вдоль его оси? Кольцо заряжено положительно с линейной плотностью заряда  $\gamma$ . Электрон находился в бесконечности.

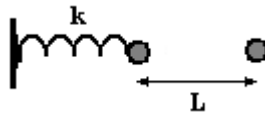
**19.23.** Маленькая муфта массой  $m$ , имеющая заряд  $q$ , может скользить по гладкому непроводящему стержню АВ длиной  $l$ . Стержень расположен горизонтально. В точке С, находящейся на расстоянии  $l$  от точек А и В, закреплен маленький шарик с таким же зарядом  $q$ . Первоначально муфта находится в точке А. Какую минимальную скорость нужно сообщить муфте, чтобы она достигла точки В?



**19.24.** В точке А находится заряд  $+4q$ , а в точке В, находящейся на расстоянии  $r_0$  от точки А, находится заряд  $-q$ . Какой скоростью должна обладать частица массы  $m$  с зарядом  $+q$ , находящаяся на прямой АВ на очень большом расстоянии от точки В, чтобы долететь до точки В?



**19.25.** Маленький шарик, имеющий заряд  $+q$  закреплен на диэлектрической пружине жесткостью  $k$ . На расстоянии  $L$  от этого шарика удерживают другой такой же шарик с зарядом  $-q$ . Какую работу нужно совершить, чтобы, медленно отодвигая второй шарик, увеличить расстояние между шариками в 2 раза?



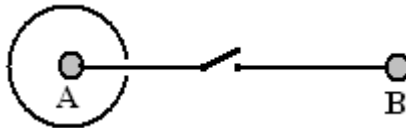
### *Энергия электрического поля.*

**19.26.** Определить энергию поля равномерно заряженной сферы радиуса  $R$ . Заряд сферы  $Q$ .

**19.27.** Какую минимальную работу против сил электрического поля надо совершить, чтобы собрать каплю ртути радиусом  $R$  с зарядом  $Q$  из  $N$  одинаковых капелек? Сколько тепла выделится при слиянии капель? Коэффициент поверхностного натяжения ртути  $\sigma$ .

**19.28.** Два одинаковых шара удалены на очень большое расстояние друг от друга. Поле первого шара обладает энергией  $W_1 = 1,6 \cdot 10^{-3}$  Дж, а поле второго - энергией  $W_2 = 3,6 \cdot 10^{-3}$  Дж. Какое количество тепла выделится при соединении этих шаров проволокой?

**19.29.\*** Металлическая сфера, имеющая небольшое отверстие, заряжена положительным зарядом  $Q$ . Металлические незаряженные шарики  $A$  и  $B$  расположены, как показано на рисунке, и соединены проволокой с ключом в середине. Вначале ключ разомкнут, затем его замыкают. Какое количество теплоты выделится в проволоке в процессе зарядки шариков? Радиус сферы равен  $R$ , радиус каждого шарика равен  $r$ , расстояние  $AB$  много больше  $R$ .



**19.30.** Металлический шар радиусом  $R_1$ , заряженный до потенциала  $\phi$ , окружают концентрической сферической проводящей оболочкой радиусом  $R_2$ . Внешнюю оболочку заземляют с помощью тонкого проводника. Сколько тепла выделится при этом в проводнике?

**19.31.** Металлический шар радиусом  $R_1$ , заряженный до потенциала  $\varphi$ , окружат сферической проводящей оболочкой радиусом  $R_2$ . Затем шар соединяют тонким проводником с оболочкой. Сколько тепла выделится при этом в проводнике?

**19.32.** Плотность энергии электростатического поля, локализованного между двумя параллельными пластинами, имеющими заряды  $+q$  и  $-q$ , равна  $w = 0,1$  Дж/м<sup>3</sup>. Площадь пластин  $S = 100$  см<sup>2</sup>. Найдите заряд пластин.

### *Емкость. Конденсаторы*

**20.1.** Каким должен быть радиус шара, чтобы его емкость (в вакууме) равнялась 1Ф?

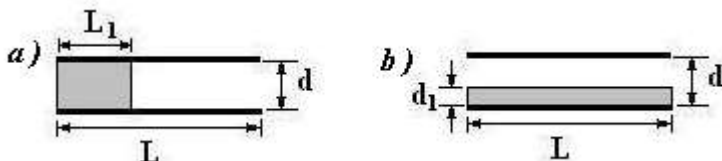
**20.2.** Проводник емкостью  $C_1$  заряжен до потенциала  $\varphi_1$ , а проводник емкостью  $C_2$  - до потенциала  $\varphi_2$ . Проводники удалены на очень большое расстояние друг от друга. Каким будет потенциал этих проводников, если соединить их проволокой?

**20.3.** Проводник емкостью  $C_1 = 10^{-5}$  мкФ заряжен до потенциала  $\varphi_1 = 6 \cdot 10^3$  В, а проводник емкостью  $C_2 = 2 \cdot 10^{-5}$  мкФ - до потенциала  $\varphi_2 = 12 \cdot 10^3$  В. Расстояние между проводниками велико по сравнению с их размерами. Какое количество тепла выделится при соединении этих проводников проволокой?

**20.4.** Пространство между двумя тонкими концентрическими металлическими сферами радиусов  $R_1$  и  $R_2$  заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Заряды металлических сфер равны  $+Q$  и  $-Q$ . Найти разность потенциалов между обкладками, плотность поляризационных зарядов на поверхности диэлектрика и емкость такого сферического конденсатора.

**20.5.\*** Пробой в воздухе наступает в электрическом поле с напряженностью  $E_0 = 3 \cdot 10^4$  В/см. Имеется сферический конденсатор с воздушным зазором, наружная оболочка которого имеет радиус  $R = 4$  см, а радиус внутренней оболочки подбирается таким, чтобы конденсатор не пробивался при возможно большем значении разности потенциалов. Определите эту максимальную разность потенциалов и радиус внутренней оболочки.

**20.6.** Пространство между обкладками плоского конденсатора заполнено диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , как показано на рисунке. Площадь пластин конденсатора  $S$ . Определить емкость конденсатора в обоих случаях.



**20.7.** К пластинам плоского конденсатора, одна из которых заземлена, приложено напряжение  $U = 100$  В. В зазор между пластинами ширины  $d = 5$  см на расстоянии  $L = 3$  см от заземленной пластины вдвигается незаряженная металлическая пластина. Определить потенциал внутренней пластины и напряженность поля по обе стороны от нее. Изменится ли емкость конденсатора?

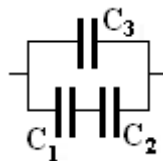
*a)* пластина тонкая.

*b)* пластина имеет толщину  $x = 1$  см.

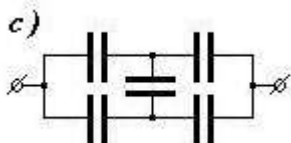
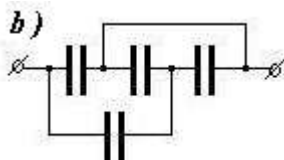
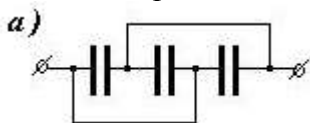
**20.8.** Два последовательно соединенных конденсатора с емкостями  $C_1 = 2$  мкФ и  $C_2 = 4$  мкФ присоединены к источнику постоянного напряжения  $U = 120$  В. Найдите напряжение на каждом конденсаторе.

**20.9.** Два одинаковых конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику напряжения. Во сколько раз изменится разность потенциалов на каждом из конденсаторов, если в один из них поместить диэлектрик с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 2$ , заполняющий все пространство между обкладками?

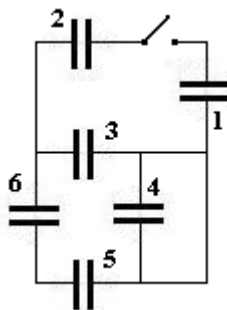
**20.10.** Найдите емкость батареи конденсаторов.  $C_1 = 0,1$  мкФ,  $C_2 = 0,4$  мкФ,  $C_3 = 0,52$  мкФ.



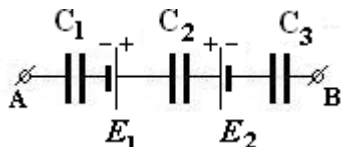
**20.11.** Найдите емкость батареи конденсаторов. Все конденсаторы имеют емкость  $C$ .



**20.12.** В схеме, изображенной на рисунке, вначале ключ разомкнут, а конденсатор 1 заряжен до напряжения  $U_0$ . Найдите напряжение на каждом конденсаторе после замыкания ключа, если емкости всех конденсаторов одинаковы и равны  $C$ .

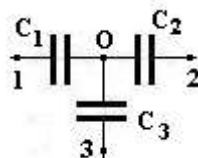


**20.13.** В некоторой цепи имеется участок, показанный на рисунке. Э.д.с. источников  $E_1 = 1$  В,  $E_2 = 2$  В, напряжение на участке равно  $\phi_A - \phi_B = 3$  В.

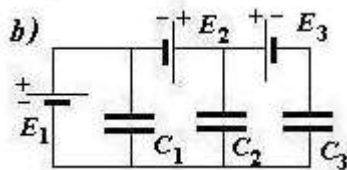
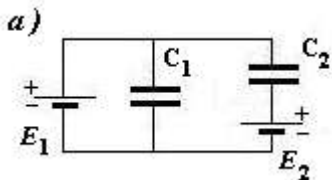


Ёмкости конденсаторов  $C_1 = 20$  мкФ,  $C_2 = 30$  мкФ,  $C_3 = 60$  мкФ. Найти напряжение на каждом конденсаторе.

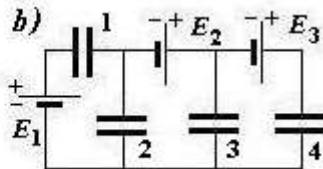
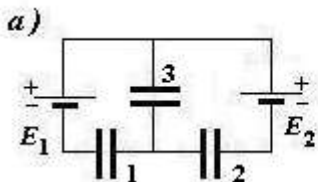
**20.14.** В некоторой цепи имеется участок, показанный на рисунке. Потенциалы точек 1,2,3 равны  $\phi_1, \phi_2, \phi_3$  соответственно, а емкости конденсаторов  $C_1, C_2, C_3$  известны. Найти потенциал точки O.



**20.15.** Найти заряды конденсаторов. Параметры элементов цепи указаны на рисунке.

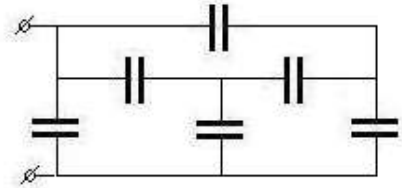


**20.16.** Найти заряды конденсаторов. Ёмкость каждого конденсатора равна  $C$ .





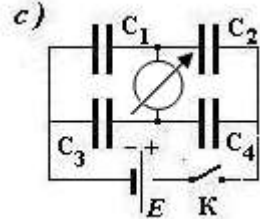
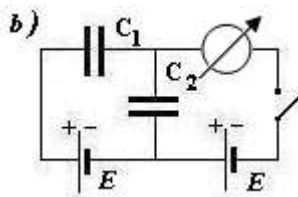
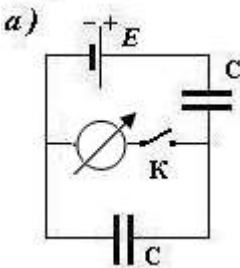
**20.17.** Найти емкость батареи конденсаторов. Каждый конденсатор имеет емкость  $C$ .



**20.18.** Плоский конденсатор, все пространство между обкладками которого заполняет пластинка из диэлектрика, присоединен к аккумулятору. Заряд конденсатора равен  $Q$ , а диэлектрическая проницаемость материала пластинки равна  $\epsilon$ . Какой заряд пройдет через аккумулятор при удалении пластинки?

**20.19.** Какой заряд протечет через гальванометр после замыкания ключа?

Параметры всех элементов цепи указаны на рисунке.

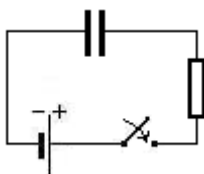


**20.20.\*** Между пластинами плоского конденсатора расположена диэлектрическая пластинка ( $\epsilon = 3$ ), заполняющая весь объем конденсатора. Конденсатор через сопротивление подключен к аккумулятору с э.д.с.  $E = 100$  В. Пластину быстро выдергивают, так что заряд на конденсаторе не успевает измениться. Какая энергия выделится в цепи в виде тепла? Емкость конденсатора без диэлектрика равна  $C_0 = 100$  мкФ.

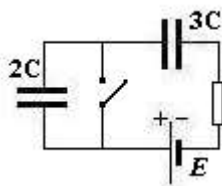
**20.21.** Пластины плоского воздушного конденсатора раздвигают так, что расстояние между ними увеличивается в три раза. Как изменятся сила взаимодействия между пластинами и энергия конденсатора, если:

- а) конденсатор зарядили и отключили от источника напряжения?
- б) конденсатор соединен с аккумулятором, поддерживающим на пластинах постоянное напряжение?

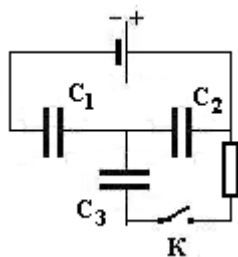
**20.22.** Найдите, сколько энергии в виде тепла выделяется при зарядке конденсатора емкостью  $C$  от источника с э.д.с.  $E$ .



**20.23.** Найдите, какое количество теплоты выделится в цепи после замыкания ключа. Параметры всех элементов цепи указаны на рисунке.



**20.24.** Какое количество тепла выделится в цепи в процессе зарядки конденсатора  $C_3$ ? Емкости всех трех конденсаторов одинаковы и равны  $C$ . Напряжение на источнике постоянно и равно  $E$ .



## ПОСТОЯННЫЙ ТОК

### *Электрические цепи. Закон Ома. Правила Кирхгофа.*

**21.1.** Плоский конденсатор с пластинами квадратной формы размером  $a^2 = 21 \times 21 \text{ см}^2$  и расстоянием между пластинами  $d = 2 \text{ мм}$  присоединен к полюсам источника с ЭДС  $E = 750 \text{ В}$ . В пространство между пластинами вдвигают с постоянной скоростью  $V = 8 \text{ см/с}$  стеклянную пластинку толщиной  $2 \text{ мм}$ . Какой ток пойдет при этом по цепи? Диэлектрическая проницаемость стекла  $\varepsilon = 7$ .

**21.2.** Плоский конденсатор заполнен средой с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  и удельным сопротивлением  $\rho$ . Чему равно его сопротивление, если емкость равна  $C$ ?

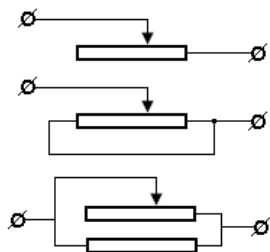
**21.3.** К концам медного провода длиной  $L = 30 \text{ м}$  приложена разность потенциалов  $U = 15 \text{ В}$ . Чему равна средняя скорость направленного движения электронов вдоль проводника?

Удельное сопротивление меди  $\delta = 0,017 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ , плотность  $\rho = 8,9 \text{ г/см}^3$ , атомная масса  $A = 64 \text{ г/моль}$ .

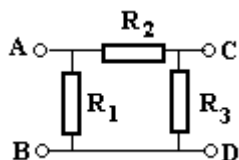
**21.4.** К сети напряжением  $120 \text{ В}$  присоединяются два сопротивления. При их последовательном соединении ток равен  $3 \text{ А}$ , а при параллельном суммарный ток равен  $16 \text{ А}$ . Чему равны сопротивления?

**21.5.** Из куска проволоки сопротивлением  $R = 10 \text{ Ом}$  сделано кольцо. Где следует присоединить провода, подводящие ток, чтобы сопротивление кольца равнялось  $r = 1 \text{ Ом}$ ?

**21.6.** Для каждой из трех указанных на рисунке схем включения реостата, имеющего сопротивление  $R$ , построить график зависимости сопротивления участка цепи от сопротивления  $r$  правой части реостата.

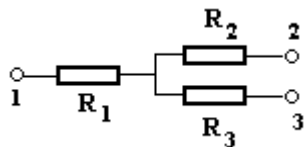


**21.7.** Если на вход электрической цепи (клеммы АВ) подано напряжение  $U_1 = 100$  В, то напряжение на выходе (клеммы CD)  $U_3 = 40$  В. При этом через сопротивление  $R_2$  идет ток  $I_2 = 1$  А.

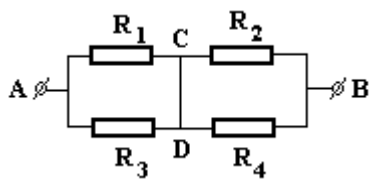


Если на выход цепи подать напряжение  $U_3' = 60$  В, то напряжение на входе окажется равным  $U_1' = 15$  В. Определить величины сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ .

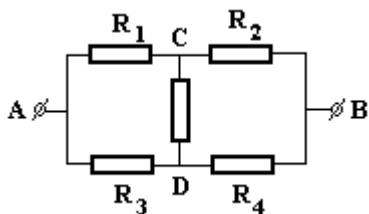
**21.8.** Найти токи, протекающие через сопротивления в схеме, если  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = 3$  Ом и  $\varphi_1 - \varphi_2 = 1$  В,  $\varphi_1 - \varphi_3 = 4$  В.



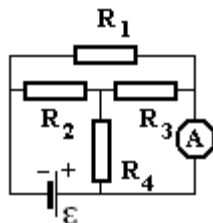
**21.9.** Напряжение  $U_{AB} = 36$  В подано на участок цепи, в которой  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = 6$  Ом,  $R_4 = 7$  Ом. Найти ток на участке CD, если  $R_{CD} = 0$ .



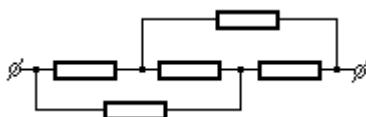
**21.10.** В представленном участке цепи  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом,  $R_3 = 3$  Ом. При каком значении сопротивления  $R_4$  на участке CD нет тока?



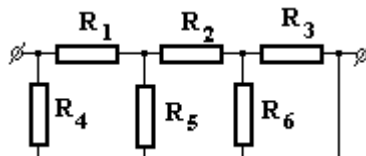
**21.11.** Какой ток течет через амперметр с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением в схеме, показанной на рисунке?  
 $R_1 = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ Ом}$ ,  $\varepsilon = 7,5 \text{ В}$ .



**21.12** Найти сопротивление участка цепи. Все резисторы имеют сопротивление  $R$ .

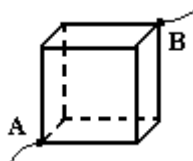


**21.13.** Найти сопротивление участка цепи, если  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ ,  
 $R_2 = 9 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_4 = R_6 = 6 \text{ Ом}$ ,  
 $R_5 = 4 \text{ Ом}$ .

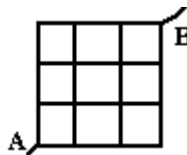


**21.14.** Найти сопротивление проволочного тетраэдра, если он подключен к источнику тока двумя вершинами. Сопротивление каждого ребра тетраэдра равно  $r$ .

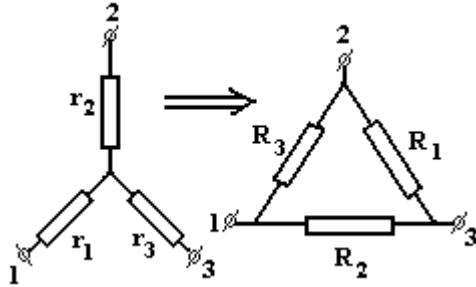
**21.15.** Найти сопротивление проволочного куба при включении его в цепь между точками  $A$  и  $B$ . Сопротивление каждого ребра куба равно  $r$ .



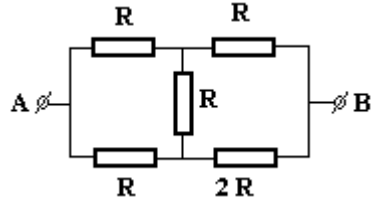
**21.16.** Определить сопротивление цепочки между точками  $A$  и  $B$ . Сопротивление каждого звена  $r = 1 \text{ Ом}$ .



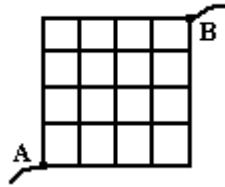
**21.17.** Какими должны быть сопротивления  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_3$  для того, чтобы «звезду», составленную из них, можно было бы включить вместо «треугольника», составленного из сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ ?



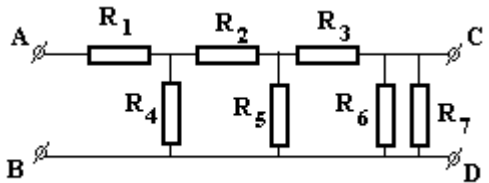
**21.18.\*** Найти сопротивление между точками А и В. Величина сопротивления  $R = 1$  Ом. Ответ дайте в виде обыкновенной дроби.



**21.19.\*** Определить сопротивление цепочки между точками А и В. Сопротивление каждого звена равно  $r$ .  
 Ответ дайте в виде обыкновенной дроби.

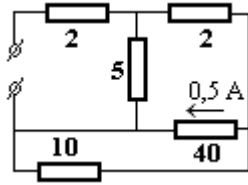


**21.20.** На вход цепочки из резисторов, показанной на рисунке, подано напряжение  $U_{AB} = 160$  В.

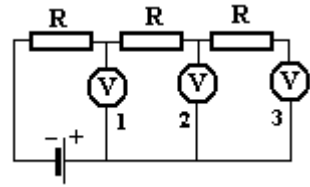


Определить напряжение  $U_{CD}$  на выходе, если  $R_1 = R_2 = R_3 = 5$  Ом,  $R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = 10$  Ом.

**21.21.** На схеме, приведенной на рисунке, указаны сопротивления резисторов (в омах) и ток через один из резисторов. Определите все остальные токи и подаваемое напряжение.

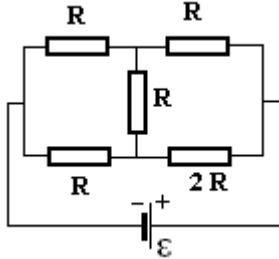


**21.22.\*** К источнику подключены три одинаковых резистора и три одинаковых вольтметра так, как показано на схеме. Найти показание второго

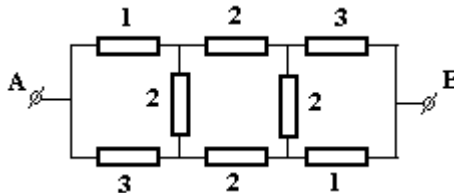


вольтметра, если показание первого вольтметра равно  $V_1 = 10 \text{ В}$ , а третьего вольтметра –  $V_3 = 2 \text{ В}$ .

**21.23.\*** Найти ток, текущий через диагональ мостовой схемы, если  $R = 1 \text{ Ом}$ ,  $\varepsilon = 1 \text{ В}$  и внутренним сопротивлением батареи можно пренебречь.

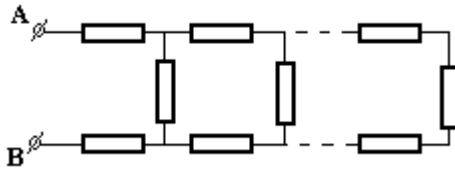


**21.24.\*** На схеме, приведенной на рисунке, указаны значения сопротивлений резисторов ( Ом ). Найдите общее сопротивление цепи между точками А и В.



**21.25.\*** Имеется  $N$  клемм, каждая из которых соединена со всеми остальными клеммами одинаковыми проводниками сопротивлением  $R$ . Найдите сопротивление между любыми двумя клеммами.

**21.26.\*** Найдите, чему равно сопротивление цепочки, состоящей из бесконечного количества одинаковых звеньев. Сопротивление каждого резистора равно  $R$ .



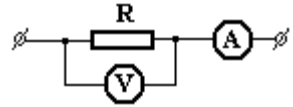
**21.27.** К гальванометру с сопротивлением  $r = 290$  Ом, включенному в цепь, присоединили шунт, понижающий чувствительность гальванометра в 10 раз. Какое сопротивление  $R$  надо включить последовательно с шунтированным гальванометром, чтобы общее сопротивление цепи осталось неизменным?

**21.28.** Имеется прибор с ценой деления  $1\text{ мкА}$ . Шкала прибора имеет 100 делений, его сопротивление  $r = 1$  кОм. Как из этого прибора сделать вольтметр для измерения напряжений до  $U = 100$  В или амперметр для измерения тока до  $I = 1$  А?

**21.29.** Если к амперметру, рассчитанному на максимальную силу тока  $I_{\text{max}} = 2$  А, присоединить шунт с сопротивлением  $r = 0,5$  Ом, то цена деления шкалы амперметра возрастет в 10 раз. Определить, какое добавочное сопротивление необходимо присоединить к этому амперметру, чтобы его можно было использовать как вольтметр, измеряющий напряжение до  $U_{\text{max}} = 220$  В.



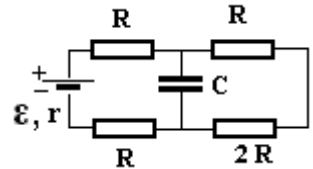
**21.30.** Сопротивление  $R$  измерили с помощью вольтметра и амперметра и получили значение  $R' = U/I = 500 \text{ Ом}$ .



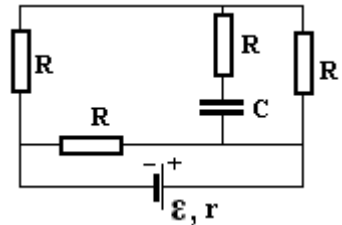
Найти относительную погрешность измерения, если сопротивление вольтметра  $R_V = 10 \text{ кОм}$ .

**21.31.** Резистор сопротивлением  $R = 45 \text{ Ом}$  и конденсатор соединены последовательно с аккумулятором, при этом заряд на обкладках конденсатора  $Q_1 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$ . Если же резистор и конденсатор подключить к аккумулятору параллельно, то заряд на обкладках конденсатора будет  $Q_2 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$ . Найти внутреннее сопротивление аккумулятора.

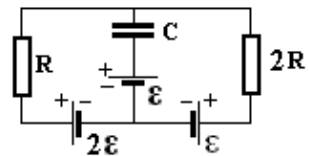
**21.32.** Найти заряд на обкладках конденсатора, если известны параметры цепи:  $\varepsilon = 96 \text{ В}$ ,  $r = 1 \text{ Ом}$ ,  $R = 3 \text{ Ом}$ ,  $C = 100 \text{ пкФ}$ .



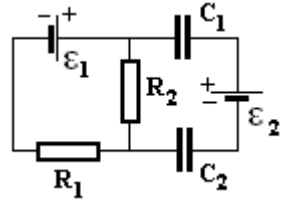
**21.33.** В схеме, изображенной на рисунке, конденсатор имеет емкость  $C = 23 \text{ мкФ}$ , сопротивления имеют одинаковую величину  $R = 20 \text{ Ом}$ . ЭДС батареи  $\varepsilon = 12 \text{ В}$ , ее внутреннее сопротивление  $r = 2 \text{ Ом}$ . Определить заряд на конденсаторе.



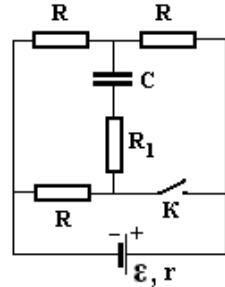
**21.34.** Определить заряд конденсатора емкостью  $C = 3 \text{ мкФ}$ , если величина  $\varepsilon = 2 \text{ В}$ . Внутренним сопротивлением источников тока пренебречь.



**21.35.** Определить напряжение на конденсаторах емкостью  $C_1 = 1 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 3 \text{ мкФ}$ , если  $\varepsilon_1 = 4 \text{ В}$ ,  $\varepsilon_2 = 10 \text{ В}$ ,  $R_1 = 100 \text{ Ом}$  и  $R_2 = 300 \text{ Ом}$ . Внутренним сопротивлением источников можно пренебречь.

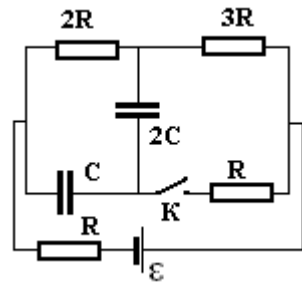


**21.36.** Определить, какой заряд пройдет через сопротивление  $R_1$  при размыкании ключа  $K$ , если  $R = 20 \text{ Ом}$ ,  $\varepsilon = 50 \text{ В}$ ,  $r = 10 \text{ Ом}$  и  $C = 7 \text{ мкФ}$ .

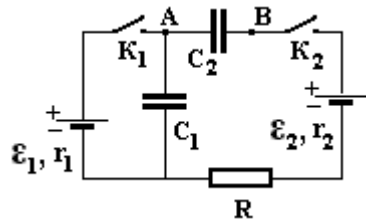


**21.37.** Определить заряд, протекающий через ключ  $K$  при его замыкании в схеме, представленной на рисунке.

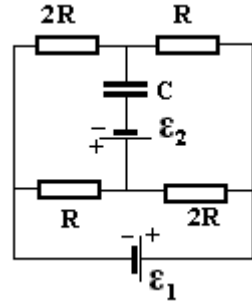
Внутренним сопротивлением батареи пренебречь. Параметры элементов схемы указаны на рисунке.



**21.38.** В схеме, показанной на рисунке, ключ  $K_1$  первоначально был замкнут, ключ  $K_2$  – разомкнут. Затем ключ  $K_1$  размыкают и замыкают ключ  $K_2$ . Какое напряжение установится между точками  $A$  и  $B$ , если первоначально конденсатор  $C_2$  не заряжен? Параметры элементов схемы указаны на рисунке.



**21.39.** Определить разность потенциалов на конденсаторе. Параметры схемы указаны на рисунке. Внутренними сопротивлениями батарей пренебречь. Какой знак будет иметь заряд на верхней пластине конденсатора при  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ ?



*Закон Ома для неоднородного участка цепи. ЭДС.*

**21.40.** При измерении напряжения на зажимах элемента вольтметром с внутренним сопротивлением  $R_1 = 20$  Ом было получено значение  $U_1 = 1,37$  В, а при замыкании элемента на амперметр с внутренним сопротивлением  $R_2 = 10$  Ом получено значение тока  $I = 0,132$  А. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление элемента.

**21.41.** При сопротивлении внешней цепи  $R_1 = 1$  Ом напряжение на зажимах источника  $U_1 = 1,5$  В, а при сопротивлении  $R_2 = 2$  Ом напряжение  $U_2 = 2$  В. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

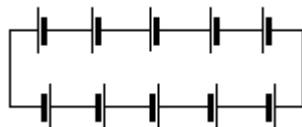
**21.42.** Гальванический элемент дает на внешнее сопротивление  $R_1 = 4$  Ом ток  $I_1 = 0,2$  А. Если же внешнее сопротивление равно  $R_2 = 7$  Ом, то элемент дает ток  $I_2 = 0,14$  А. Какой ток даст элемент, если его замкнуть накоротко?

**21.43.** В конце зарядки батареи аккумуляторов присоединенный к ней вольтметр показывал напряжение  $U_1 = 4,25$  В, при этом сила тока была равна  $I_1 = 3$  А. В начале разрядки той же батареи при токе  $I_2 = 4$  А вольтметр показывал напряжение  $U_2 = 3,9$  В. Ток, проходящий по вольтметру, очень мал.

Определить ЭДС и внутреннее сопротивление батареи.

**21.44.** Имеется два последовательно соединенных элемента с одинаковой ЭДС, но с разными внутренними сопротивлениями  $r_1$  и  $r_2$ . При каком внешнем сопротивлении разность потенциалов на зажимах одного из элементов равна нулю и на каком?

**21.45.** Какова разность потенциалов между любыми точками цепи, изображенной на рисунке?

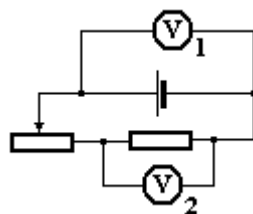


ЭДС каждого элемента  $\varepsilon$ , внутреннее сопротивление каждого элемента  $r$ . Сопротивлением соединительных проводов пренебречь. Как изменится ответ, если элементы попарно будут обращены друг к другу одноименными полюсами?

**21.46.** Два элемента соединены параллельно. ЭДС первого элемента  $\varepsilon_1$ , второго  $\varepsilon_2$ , внутренние сопротивления их равны. Определить разность потенциалов на зажимах элементов.

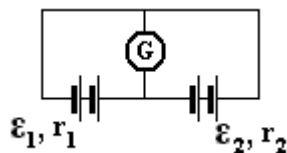
**21.47.** Вольтметр, подключенный к параллельно соединенным одинаковыми полюсами элементам с  $\varepsilon_1 = 1,5$  В и  $\varepsilon_2 = 2$  В, показал напряжение  $U = 1,7$  В. Чему равно отношение внутренних сопротивлений элементов?

**21.48.** Как будут изменяться показания вольтметров при перемещении ползунка реостата влево?

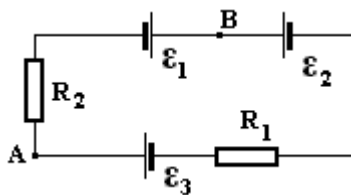


**21.49.** Два элемента с равными ЭДС  $\varepsilon = 2$  В соединены параллельно (одинаковыми полюсами) и замкнуты на внешнее сопротивление  $R$ . Внутренние сопротивления этих элементов равны соответственно  $r_1 = 1$  Ом и  $r_2 = 2$  Ом. Чему равно сопротивление  $R$ , если текущий через первый элемент ток  $I_1 = 1$  А?

**21.50.** Две батареи с ЭДС  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  и внутренними сопротивлениями  $r_1$  и  $r_2$  включены, как указано на рисунке. Пренебрегая сопротивлением проводов и гальванометра, найти ток через гальванометр. При каком соотношении между внутренними сопротивлениями батарей ток через гальванометр не пойдет?



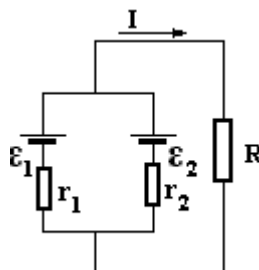
**21.51.** Определить разность потенциалов между точками A и B в схеме, указанной на рисунке, если  $R_1 = 10$  Ом,  $R_2 = 20$  Ом, ЭДС источников  $\varepsilon_1 = 5$  В,  $\varepsilon_2 = 10$  В,  $\varepsilon_3 = 15$  В,  $r_1 = 1$  Ом,  $r_2 = 2$  Ом,  $r_3 = 3$  Ом.



**21.52.** ЭДС динамомшины  $\varepsilon_1 = 12$  В, ее внутреннее сопротивление  $r_1 = 0,2$  Ом. Она заряжает аккумуляторную батарею с  $\varepsilon_2 = 10$  В и внутренним сопротивлением  $r_2 = 0,6$  Ом. Параллельно батарее включена лампочка с сопротивлением  $r_3 = 3$  Ом. Определить силу тока в батарее, в лампочке и в генераторе.

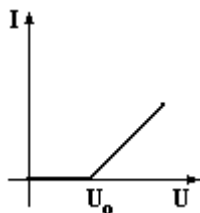
**21.53.** Источниками электрического тока в системах электрического оборудования современных автомобилей являются генератор постоянного тока и соединенный с ним параллельно аккумулятор, ЭДС которого  $\varepsilon_1 = 12$  В.

ЭДС генератора  $\varepsilon_2 = 14$  В, а его внутреннее сопротивление  $r_2 = 0,5$  Ом. При каком токе  $I$ , потребляемом нагрузкой, аккумулятор начнет разряжаться?



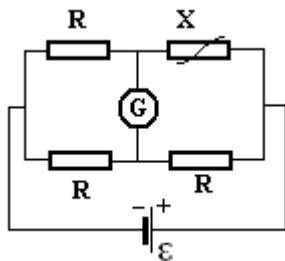
## Нелинейные элементы в цепях постоянного тока

**21.54.\*** На рисунке показана вольтамперная характеристика некоторого нелинейного элемента. До значения напряжения  $U_0 = 100$  В ток через элемент отсутствует, а затем растет линейно с напряжением. При подключении его к батарее с внутренним сопротивлением  $r = 25$  кОм через элемент течет ток  $I_1 = 2$  мА, а при подключении его к той же батарее через сопротивление  $R = 2$  г ток  $I_2 = 1$  мА.



Определить ЭДС батареи.

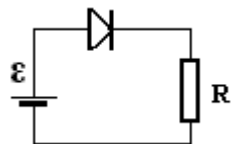
**21.55.\*** В одно из плеч моста Уитстона включено нелинейное сопротивление  $X$ , для которого зависимость тока  $I$  (в амперах) от приложенного напряжения  $U$  (в вольтах) имеет вид  $I = 0,01 U^3$ .



В остальные плечи моста включены

одинаковые сопротивления  $R = 4$  Ом. При каком токе через батарею мост окажется сбалансированным?

**21.56.\*** При положительном напряжении на диоде зависимость тока через диод от напряжения имеет вид  $I = \alpha U^2$ . При отрицательном напряжении ток через диод равен нулю. Найдите ток в цепи, если этот диод через сопротивление  $R$  подключен к батарее с ЭДС, равной  $\mathcal{E}$ .

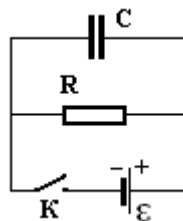


**21.57.** Конденсатор емкости  $C$ , заряженный до напряжения  $U_0$ , после замыкания ключа разряжается через сопротивление  $R$ . Получите зависимость напряжения на конденсаторе от времени как функцию  $U(t)$ . Исследуйте поведение этой функции в

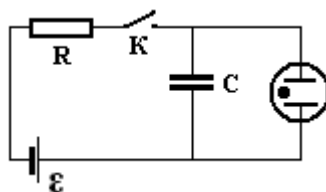
зависимости от параметров схемы (R,C). Как зависит от времени сила тока в цепи?

**21.58.** Конденсатор емкости  $C$  заряжается до напряжения  $U$  через сопротивление  $R$  от источника с малым внутренним сопротивлением. ЭДС источника равна  $\varepsilon$ . Получите зависимость напряжения на конденсаторе от времени как функцию  $U(t)$ . Исследуйте поведение этой функции в зависимости от параметров схемы ( $R, C, \varepsilon$ ). Как зависит от времени сила тока в цепи? Чему равна сила тока сразу после замыкания ключа?

**21.59.** В схеме, изображенной на рисунке, найдите ЭДС батареи, если известно, что сила тока через источник сразу после замыкания ключа в  $n = 2$  раза больше установившейся силы тока, а установившееся напряжение на конденсаторе  $U = 1,75$  В.



**21.60.** Зажигание неоновой лампы осуществляется с помощью схемы, показанной на рисунке. После замыкания ключа конденсатор начинает заряжаться.



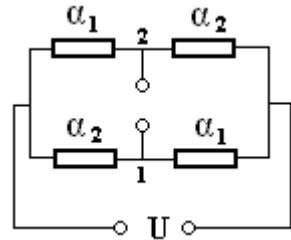
Когда напряжение на лампе достигает некоторого значения (оно называется напряжением зажигания), лампочка загорается, при этом напряжение на ней падает. Минимальное напряжение на лампе, при котором она еще горит,  $U = 80$  В; при этом ток через лампу  $I = 1$  мА. При каких значениях сопротивления резистора  $R$  лампа после зажигания будет стационарно гореть? ЭДС батареи  $\varepsilon = 120$  В.

**21.61.** Элемент атомной батареи электрического тока представляет собой сферический конденсатор. На внутреннюю сферу нанесен радиоактивный препарат, испускающий летящие со скоростью  $V = 2,2 \cdot 10^6$  м/с  $\alpha$  - частицы. Определите ЭДС этого элемента.

Отношение заряда  $\alpha$ -частицы к ее массе  $q/m = 4,8 \cdot 10^7$  Кл/кг.

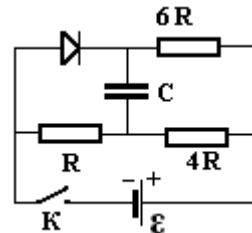
**21.62.\*** Сферический конденсатор имеющий емкость, равную  $C = 10^{-10}$  Ф, заполняется слабопроводящей жидкостью с удельным сопротивлением  $\rho = 10^4$  Ом·м. Найти электрическое сопротивление между обкладками конденсатора.

**21.63.** Для измерения температуры ( $t^\circ\text{C}$ ) собрана мостовая схема из четырех резисторов, температурные коэффициенты которых попарно равны и составляют  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  соответственно. Сопротивления резисторов при температуре  $0^\circ\text{C}$  одинаковы. Схема



подключена к источнику с малым внутренним сопротивлением, дающим напряжение  $U$ . Найдите, как зависит от температуры напряжение между точками 1 и 2. Считать, что в диапазоне измеряемых температур  $\alpha_1 t, \alpha_2 t \ll 1$

**21.64.** Найти силу взаимодействия между обкладками плоского воздушного конденсатора, расстояние между которыми равно  $d$ , через достаточно большой промежуток времени после замыкания ключа. Емкость конденсатора равна  $C$ , ЭДС батареи равна  $\varepsilon$ , её внутренним сопротивлением можно пренебречь, диод идеальный.





## *Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.*

**22.1.** Две электрические лампочки номинальной мощностью  $P_1 = 40$  Вт и  $P_2 = 100$  Вт включены в сеть последовательно. На какой лампочке при этом выделяется за одно и то же время большее количество теплоты и во сколько раз?

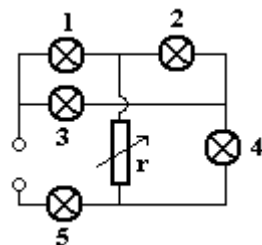
**22.2.** Две электрические лампочки включены в сеть параллельно. Сопротивление первой лампочки  $R_1 = 360$  Ом, второй –  $R_2 = 240$  Ом. Какая из лампочек поглощает большую мощность и во сколько раз?

**22.3.** Три лампочки номинальной мощностью  $P_1 = 50$  Вт,  $P_2 = 25$  Вт и  $P_3 = 50$  Вт, рассчитанные на напряжение 110 В каждая, соединены между собой и включены в сеть с напряжением 220 В. Определите мощность, потребляемую каждой лампочкой, если лампы 2 и 3 соединены параллельно, а лампа 1 подключена к ним последовательно.

**22.4.** Электрическая лампочка номинальной мощностью  $P = 40$  Вт, рассчитанная на напряжение  $U_0 = 220$  В, включается последовательно с реостатом в электрическую сеть с напряжением  $U = 381$  В. Какое сопротивление должен иметь реостат, чтобы лампочка горела в предназначенном для нее режиме?

**22.5.** Два резистора при параллельном включении в сеть с напряжением  $U_1 = 110$  В потребляют  $P_1 = 2,5$  Вт и  $P_2 = 10$  Вт. Резисторы соединили последовательно и включили в сеть с напряжением  $U_2 = 220$  В. Определить мощность, которую будет потреблять первый резистор в этом случае.

**22.6.\*** В сеть постоянного тока включена схема из пяти одинаковых лампочек сопротивлением  $R$  и переменного резистора. Каким нужно сделать сопротивление переменного резистора, чтобы лампочка 1 светила в 4 раза ярче, чем лампочка 2? Яркость свечения лампочки пропорциональна потребляемой мощности.



**22.7.** Электрочайник имеет в нагревателе две секции. При включении только первой секции вода в чайнике закипает за время  $t_1 = 10$  мин, а при включении только второй секции - за время  $t_2 = 15$  мин. Через какое время закипит вода, если включить обе секции параллельно или последовательно?

**22.8.** Миллиамперметр имеет сопротивление  $25$  Ом, рассчитан на предельный ток  $50$  мА и снабжен шунтом на  $10$  А. Какую мощность рассеивает прибор, если он показывает силу тока  $8$  А?

**22.9.** Электрический утюг, имеющий мощность  $P = 300$  Вт, рассчитан на напряжение  $U_0 = 120$  В. При включении утюга в сеть напряжение на розетке падает с  $U_1 = 127$  В до  $U_2 = 115$  В. Определить сопротивление проводов, подводящих ток к розетке. Считать, что сопротивление утюга не меняется.

**22.10.** Спираль нагревательного прибора, рассчитанного на напряжение  $220$  В, изготовлена из проволоки длиной  $30$  см. Для того, чтобы можно было использовать этот прибор в сети с напряжением  $110$  В, параллельно первой спирали присоединили вторую, изготовленную из проволоки с тем же удельным сопротивлением, но имеющую диаметр вдвое больший, чем у первой. Какова длина проволоки, из которой изготовлена вторая спираль, если потребляемая прибором мощность не изменилась? Зависимость сопротивления от температуры не учитывать.

**22.11.** Цилиндрическую алюминиевую заготовку длиной  $L_0 = 50$  см и площадью сечения  $S_0 = 5$  см<sup>2</sup> вытягивают в проволоку круглого сечения длиной  $L = 220$  м. С помощью этой проволоки нагреватель номинальной мощностью  $P_H = 2$  кВт подключают к сети с номинальным для нагревателя напряжением  $U_H = 220$  В. Какова будет фактическая мощность нагревателя?

Удельное сопротивление алюминия  $\rho = 2,5 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.

**22.12.** Во сколько раз сила тока лампы с вольфрамовой нитью в момент включения больше силы тока в рабочем состоянии, если температура накала нити около 2400 °С?

Температурный коэффициент сопротивления вольфрама равен  $\alpha = 5 \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>.

**22.13.** Электрическая лампочка с вольфрамовой нитью потребляет мощность  $P = 60$  Вт при напряжении  $U = 120$  В. Сопротивление лампочки, измеренное при  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ , оказалось равным  $R_0 = 20$  Ом. Определить температуру нити в рабочем состоянии.

Температурный коэффициент сопротивления вольфрама равен  $\alpha = 5 \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>.

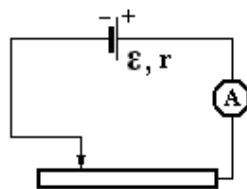
**22.14.** 100-ваттная лампа включена в сеть с напряжением 120 В. Сопротивление лампы в накаливаемом состоянии больше, чем в холодном (при температуре 0°С), в 10 раз. Найти температурный коэффициент сопротивления материала нити и сопротивление лампы в холодном состоянии, если во время горения лампы температура нити 2000 °С.

### *Закон Джоуля-Ленца для замкнутой цепи.*

**22.15.** Найдите работу электрических сил и выделяемое количество теплоты за время  $\Delta t = 1$  с на участке цепи, по которому протекает ток  $I = 1$  А при напряжении на концах участка  $U = 2$  В, если участок представляет собой:

- а) резистор;
- б) аккумулятор с ЭДС  $\varepsilon_1 = 1,3$  В, который заряжается от внешнего источника;
- в) батарею аккумуляторов с ЭДС  $\varepsilon_2 = 2,6$  В, которая замыкается на внешнее сопротивление.

**22.16.** Батарея аккумуляторов, ЭДС которой  $\varepsilon$  и внутреннее сопротивление  $r$ , замкнута на реостат, сопротивление которого может меняться в широких пределах.



**а)** Найти зависимость следующих величин от силы тока в цепи:

- 1) полная мощность, вырабатываемая батареей  $P_{\text{полн}}(I)$
- 2) мощность, потребляемая во внешней цепи  $P_{\text{внешн}}(I)$
- 3) мощность, теряемая внутри источника  $P_{\text{тер}}(I)$
- 4) КПД данной цепи  $\eta(I)$

**б)** Найти зависимость всех перечисленных выше величин от сопротивления внешней цепи:

$$P_{\text{полн}}(R), P_{\text{внешн}}(R), P_{\text{тер}}(R), \eta(R).$$

Постройте соответствующие графики и проанализируйте поведение найденных величин при различных режимах работы источника тока.

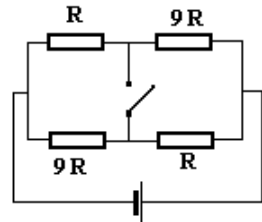
**22.17.** От источника тока, ЭДС которого  $\varepsilon$  и внутреннее сопротивление  $r$ , необходимо получить мощность  $P$ , замыкая его на внешнее сопротивление. Определить: а) нужную силу тока; б) разность потенциалов на зажимах источника; в) внешнее сопротивление  $R$ .

**22.18.** Элемент, ЭДС которого  $\varepsilon$  и внутреннее сопротивление  $r$ , замкнут на внешнее сопротивление, которое подбирают так, чтобы получить на нем максимальную мощность. Величина этой мощности  $P_{\max} = 9$  Вт, сила тока, текущего при этом по цепи,  $I = 3$  А. Найти величины  $\varepsilon$  и  $r$ .

**22.19.** Элемент замыкается один раз на внешнее сопротивление  $R_1 = 4$  Ом, другой раз на  $R_2 = 9$  Ом. В том и другом случаях количество теплоты, выделяющееся в каждом сопротивлении за одно и то же время, оказывается одинаковым. Каково внутреннее сопротивление элемента?

**22.20.** К аккумулятору, имеющему внутреннее сопротивление  $r = 20$  Ом, подключено сопротивление  $R = 25$  Ом. Какое сопротивление  $R_x$  следует подключить параллельно  $R$ , чтобы мощность, выделяемая во внешней цепи, не изменилась? Как изменится при этом режим работы аккумулятора?

**22.21.** В схеме, изображенной на рисунке, сопротивление  $R = 10$  Ом. При замыкании ключа мощность, выделяемая во внешней цепи, не меняется. Найти внутреннее сопротивление источника тока.



**22.22.** Электрическая цепь состоит из источника тока и реостата. ЭДС источника  $\varepsilon = 6$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом. Сопротивление реостата может изменяться от 1 Ом до 5 Ом. Чему равна максимальная мощность, выделяемая на реостате?

**22.23.** ЭДС источника тока  $\varepsilon = 2$  В, внутреннее сопротивление  $r = 1$  Ом. Определить силу тока, если внешняя цепь потребляет мощность  $P = 0,75$  Вт.

**22.24.** Электрический нагреватель воды для аквариума, будучи присоединен к батарее с ЭДС  $\varepsilon = 12$  В и внутренним сопротивлением  $r = 3,2$  Ом, потребляет мощность  $P = 10$  Вт. Каков коэффициент полезного действия  $\eta$  данной установки?

**22.25.** Определить ток короткого замыкания  $I_0$  для аккумуляторной батареи, если при токе нагрузки  $I_1 = 5$  А она отдает во внешнюю цепь мощность  $P_1 = 9,5$  Вт, а при токе нагрузки  $I_2 = 8$  А – мощность  $P_2 = 14,4$  Вт.

**22.26.** Два параллельно соединенных резистора  $R_1 = 6$  Ом и  $R_2 = 12$  Ом последовательно с резистором  $R_3 = 15$  Ом подключены к зажимам генератора с ЭДС  $\varepsilon = 200$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом. Найти мощность, выделяющуюся на резисторе  $R_1$ .

**22.27.** Найти полную мощность, выделяющуюся в цепи, если сопротивление внешней цепи  $R = 4$  Ом, внутреннее сопротивление элемента  $r = 2$  Ом, а напряжение на его зажимах  $V = 6$  В.

**22.28.** Батарея элементов, будучи замкнутой на сопротивление  $R_1 = 2$  Ом, дает ток  $I_1 = 1,6$  А. Та же батарея, замкнутая на сопротивление  $R_2 = 1$  Ом, дает ток  $I_2 = 2$  А. Найти мощность, теряемую внутри батареи во втором случае.

**22.29.** Батарея из  $n = 6$  последовательно включенных элементов с одинаковыми ЭДС  $\varepsilon = 1,5$  В питает током  $I = 0,28$  А две последовательно включенные лампы, каждая с сопротивлением  $R = 12,5$  Ом. Найти КПД цепи и внутреннее сопротивление одного элемента.

**22.30.** К источнику тока с ЭДС  $\varepsilon = 8$  В подключена некоторая нагрузка. При этом напряжение на зажимах источника составляет  $U = 6,4$  В. Найти КПД цепи.

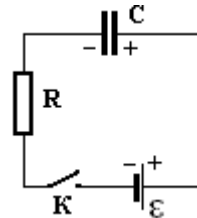
**22.31.** Батарея состоит из одинаковых параллельно соединенных элементов. ЭДС каждого элемента  $\varepsilon = 5,5$  В и внутреннее сопротивление  $r = 5$  Ом. При величине тока во внешней цепи  $I = 2$  А полезная мощность  $P = 7$  Вт. Сколько элементов имеет батарея?

**22.32.** Два одинаковых источника соединены параллельно. ЭДС каждого  $\varepsilon = 15$  В. Определить напряжение на зажимах источников и мощность, развиваемую каждым из них, если сопротивление внешней цепи  $R = 8,8$  Ом, а внутренние сопротивления источников равны  $r_1 = 3$  Ом и  $r_2 = 2$  Ом.

**22.33.** Аккумулятор, имеющий ЭДС  $\varepsilon_1 = 12$  В, заряжается от источника с ЭДС  $\varepsilon_2 = 18$  В через лампу накаливания, потребляющую при этом мощность  $P = 24$  Вт.

Сколько времени будет заряжаться аккумулятор, если его емкость  $Q = 40$  ампер-часов (А·ч)? Внутренним сопротивлением источника и аккумулятора пренебречь.

**22.34.** Конденсатор емкостью  $C$ , заряженный до напряжения  $U$ , используют для подзарядки аккумулятора. ЭДС аккумулятора во время зарядки примерно постоянна и равна  $\varepsilon$ . Какое количество химической энергии запасает аккумулятор в этом процессе и какое количество тепла выделяется при этом в цепи?



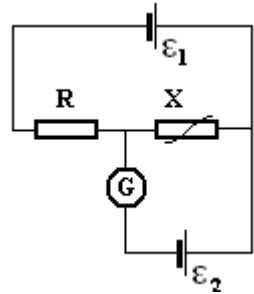
**22.35.** При длительном пропускании тока  $I_1 = 1,4$  А через проволоку последняя нагрелась до температуры  $t_1 = 55^\circ\text{C}$ , а при пропускании тока  $I_2 = 2,8$  А - до температуры  $t_2 = 160^\circ\text{C}$ . До какой температуры  $t_3$  нагревается проволока при токе  $I_3 = 5,5$  А? Теплоотдача с единицы поверхности пропорциональна разности температур проволоки и воздуха. Зависимостью сопротивления проволоки от температуры в данном диапазоне пренебречь.

**22.36.\*** Достаточно длинная медная проволочка диаметром  $d_1 = 0,2$  мм перегорает при токе  $I_1 = 10$  А. При каком токе перегорит проволочка диаметром  $d_2 = 0,4$  мм?

**22.37.** Ток, протекающий через резистор с сопротивлением  $R = 100$  Ом, изменяется во времени по закону  $I = k\sqrt{t}$ . Какое время протекал ток, если на резисторе выделилось количество тепла  $W = 1,8$  кДж? Коэффициент  $k = 1$  А/с<sup>1/2</sup>.

**22.38.\*** Имеется нелинейный элемент, в котором сила тока связана с приложенным напряжением соотношением  $I = kU^2$ , где  $k = 0,01$  А/В<sup>2</sup>. Этот элемент последовательно с резистором, сопротивление которого  $R = 100$  Ом, подключен к батарее с ЭДС, равной  $\varepsilon = 15,75$  В. Найти мощность, поглощаемую нелинейным элементом. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

**22.39.\*** В схеме, представленной на рисунке, ЭДС батареи  $\varepsilon_2 = 4$  В, сопротивление резистора  $R = 50$  Ом. В цепь включен нелинейный элемент, для которого  $I = kU^2$ , где  $k = 0,02$  А/В<sup>2</sup>. Схема сбалансирована, т.е. гальванометр показывает отсутствие тока. Определить мощность, отдаваемую источником  $\varepsilon_1$ ,



если его внутренним сопротивлением можно пренебречь.



***Передача электроэнергии на расстояние.  
Электрические машины постоянного тока.***

При решении задач принять:

удельное сопротивление меди  $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} =$   
 $= 0,017 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}.$

плотность меди  $d = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3.$

**22.40.** Электроэнергия от генератора мощностью  $N = 4 \text{ кВт}$ , передается потребителю по проводам, имеющим сопротивление  $R = 0,4 \text{ Ом}$ . Какое напряжение должно быть на зажимах источника, чтобы потери мощности в проводах составляли не более 4% передаваемой мощности?

**22.41.** От источника с напряжением  $U = 100 \text{ кВ}$  требуется передавать на расстояние  $L = 5 \text{ км}$  мощность  $P = 5000 \text{ кВт}$ . Допустимая потеря напряжения в проводах  $n = 1\%$ . Рассчитать минимальный диаметр медного провода, пригодного для этой цели.

**22.42.** Под каким напряжением нужно передавать электрическую энергию постоянного тока на расстояние  $L = 5 \text{ км}$ , чтобы при плотности тока  $j = 0,25 \text{ А} / \text{мм}^2$  в медных проводах двухпроводной линии электропередачи потери в линии составляли  $n = 1\%$  от передаваемой мощности?

**22.43.** Определить массу медных проводов, необходимых для монтажа двухпроводной линии передачи от источника с напряжением  $U = 2,4 \text{ кВ}$  до потребителя, находящегося на расстоянии  $L = 5 \text{ км}$  от источника напряжения. Мощность, передаваемая потребителю, равна  $W = 60 \text{ кВт}$ . Допускаемая потеря напряжения в проводах линии электропередачи составляет 8%.

**22.44.** Найдите минимальную массу медного провода, предназначенного для передачи мощности  $P = 12$  кВт на расстояние  $L = 100$  м от генератора с напряжением  $U = 220$  В, если допустимые потери мощности в линии составляют 2%.

**22.45.** Найдите, во сколько раз коэффициент полезного действия линии электропередачи при напряжении  $U_1 = 200$  кВ больше коэффициента полезного действия линии при напряжении  $U_2 = 100$  кВ. Сопротивление линии  $R = 0,4$  кОм, передаваемая от источника мощность  $P = 10^4$  кВт.

**22.46.** Электроэнергия передается от генератора по проводам, общее сопротивление которых  $R = 400$  Ом. Коэффициент полезного действия линии передачи  $\eta = 0,95$ . Нагрузка представляет собой омическое сопротивление. Определите величину сопротивления нагрузки, если внутреннее сопротивление генератора  $r = 100$  Ом.

**22.47.** Во сколько раз следует повысить напряжение источника, чтобы потери мощности в линии передачи от источника к потребителю снизить в 100 раз при условии постоянства отдаваемой генератором мощности?

**22.48.** Электромотор включен в сеть постоянного тока с напряжением 220 В. Сопротивление обмотки мотора 2 Ом. Сила потребляемого тока 10А. Найти потребляемую мощность и КПД мотора.

**22.49.** Электромотор питается от источника постоянного тока с напряжением  $U = 24$  В. Чему равна мощность на валу мотора при протекании по его обмотке тока  $I_1 = 8$  А, если известно, что при полном затормаживании якоря по цепи идет ток  $I_2 = 16$  А ?

**22.50.** Электромотор с сопротивлением обмоток  $R = 2$  Ом подключен к генератору с ЭДС  $\varepsilon = 140$  В и внутренним сопротивлением  $r = 4$  Ом. При работе мотора через его обмотки проходит ток  $I = 10$  А. Найдите КПД электромотора. Сопротивление подводящих проводов пренебрежимо мало.

**22.51.** Электромотор, статор которого изготовлен из постоянного магнита, работает в сети постоянного тока с напряжением 120 В. Обмотка ротора мотора имеет сопротивление 20 Ом. С какой установившейся скоростью может подниматься груз массой 5 кг, подвешенный на нити, другой конец которой закреплен на валу ротора мотора?

***Электрический ток в жидкостях. Электролиз.  
Электрический ток в газах и вакууме.***

При решении задач используйте следующие значения фундаментальных физических постоянных:

Заряд электрона	$e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса электрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Число Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>

**23.1.** Две одинаковые электролитические ванны (А и В) наполнены раствором медного купороса. Концентрация раствора в ванне А больше, чем в ванне В. В какой из ванн выделится больше меди, если их соединить последовательно? параллельно?

**23.2.** При проведении опыта по определению электрохимического эквивалента меди были получены следующие данные: время прохождения тока 20 мин, сила тока 0,5 А, масса катода до опыта 70,40 г, масса после опыта 70,58 г. Какое значение электрохимического эквивалента меди было получено по этим данным?

**23.3.** Никелирование металлического изделия с площадью поверхности  $S = 120\text{см}^2$  продолжалось в течение времени  $t = 5$  ч при силе тока  $I = 0,3$  А. Определить толщину  $h$  слоя никеля. Атомная масса никеля  $A = 58,7$  г/моль, валентность никеля  $n = 2$ , плотность  $d = 8,8$  г/см<sup>3</sup>.

**23.4.** Какова затрата электроэнергии на получение 1 кг алюминия, если электролиз ведется при напряжении 10 В, а КПД всей установки составляет 80%?

Атомная масса алюминия  $A = 27$ , валентность  $n = 3$ . Ответ выразить во внесистемных единицах киловатт-часах (кВт·ч)

**23.5.** Какая энергия затрачивается на получение  $m = 10$  г серебра при электролизе, если на клеммах электролитической ванны поддерживается напряжение  $U = 10$  В?

КПД установки  $\eta = 70\%$ . Электрохимический эквивалент серебра  $k = 1,02 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл.

**23.6.** Найти массу выделившейся меди, если для ее получения электролитическим способом затрачено  $W = 5$  кВт·ч электроэнергии.

Электролиз проводится при напряжении  $U = 10$  В, КПД установки  $\eta = 75\%$ .

Электрохимический эквивалент меди  $k = 3,3 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл.

**23.7.** Какой заряд проходит через раствор медного купороса ( $\text{CuSO}_4$ ) за время  $t = 10$  с, если ток за это время равномерно возрастает от нуля до  $I = 4$  А? Какая масса меди выделяется при этом на катоде?

Электрохимический эквивалент меди  $k = 3,3 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл.

**23.8.** К источнику тока подключены параллельно две электролитические ванны. Амперметр показывает общую силу тока  $I = 7$  А. В первой ванне, где находится раствор соли никеля, за время  $t = 10$  мин на катоде выделилось  $m_1 = 0,36$  г никеля.

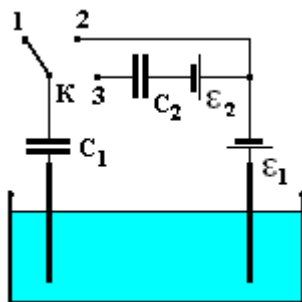
Во второй ванне, где находится раствор соли серебра, за это же время выделилось количество серебра  $m_2 = 3,35$  г.

Найти электрохимический эквивалент серебра, если электрохимический эквивалент никеля  $k_1 = 3 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл.

**23.9.** Ванна с раствором серной кислоты подключена к батарее с ЭДС, равной  $\varepsilon = 5$  В. Изменяя расстояние между электродами, их установили так, чтобы получить от батареи наибольшую мощность. При этом за время  $\tau = 50$  мин в области катода выделилось  $m = 0,3$  г водорода. Какую мощность расходовала батарея во внешней цепи? Поляризацией электродов можно пренебречь.

**23.10.\*** К гальваническому элементу подключены параллельно два резистора. Сопротивление первого резистора в  $k$  раз превышает внутреннее сопротивление элемента, а сопротивление второго таково, что выделяющаяся на нем тепловая мощность максимальна. Во сколько раз изменится скорость растворения цинкового электрода элемента, если от него отключить второй резистор?

**23.11.\*** Цепь состоит из двух незаряженных конденсаторов емкостью  $C_1$  и  $C_2$ , двух батарей с ЭДС  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , ключа  $K$ , находящегося в положении **1**, и электролитической ванны, наполненной раствором медного купороса. После перевода ключа в положение **2** через достаточно большое

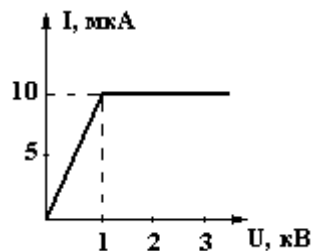


время на одном из электродов выделилась медь массой  $m$ . Найти массу меди  $\Delta m$ , которая дополнительно выделится на электроде после перевода ключа в положение **3** к моменту прекращения тока в цепи.

**23.12.** В случае несамостоятельного газового разряда зависимость тока через газоразрядную трубку от напряжения между электродами трубки имеет вид, показанный на рисунке.

Трубка соединена последовательно с балластным сопротивлением  $3 \cdot 10^8$  Ом и подключена к батарее с ЭДС 6 кВ.

Какова сила установившегося тока через трубку и чему равно при этом напряжение на трубке? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



**23.13.** Какова сила тока насыщения при несамостоятельном газовом разряде, если ионизатор образует ежесекундно  $10^9$  пар однозарядных ионов в одном кубическом сантиметре, площадь каждого из двух плоских параллельных электродов  $100 \text{ см}^2$  и расстояние между ними 5 см?

**23.14.** При какой напряженности поля начнется самостоятельный разряд в воздухе, если энергия ионизации молекул равна  $2,4 \cdot 10^{-18}$  Дж, а средняя длина свободного пробега равна 5 мкм? Какова при этом скорость электронов при неупругом соударении с молекулами?

**23.15.** Расстояние между электродами в трубке, наполненной парами ртути, равно 10 см. Какова средняя длина свободного пробега электрона, если самостоятельный разряд наступает при напряжении 600 В? Энергия ионизации паров ртути  $\varepsilon_i = 1,7 \cdot 10^{-18}$  Дж. Поле между электродами считать однородным.

**23.16.** Потенциал ионизации атома ртути  $\varphi_i = 10,4$  В. Какой наименьшей скоростью  $V$  должен обладать электрон, чтобы ионизовать атом ртути при неупругом ударе?

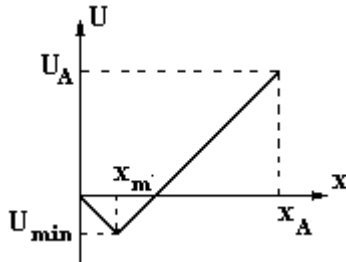
**23.17.** При каком напряжении зажигается неоновая лампа, если энергия ионизации атома  $w = 21,6$  эВ, а средняя длина свободного пробега электронов в газе  $\lambda = 1$  мм? Расстояние между электродами лампы  $d = 1$  см.

**23.18\*.** Оцените, при какой разности потенциалов между плоскими электродами зажигается газовая лампа, если энергия ионизации атомов газа  $3 \cdot 10^{-18}$  Дж. Давление в лампе равно 15 Па, а расстояние между электродами равно 1 см.

**23.19.** В вакуумном диоде электрон подходит к аноду со скоростью  $8 \cdot 10^6$  м/с. Найдите анодное напряжение.

**23.20.** Из-за наличия объемного заряда между электродами в плоском диоде устанавливается распределение потенциала, показанное на рисунке. Какой минимальной энергией должен обладать электрон у катода, чтобы долететь до анода? Чему равно время пролета электронов с такой энергией?

$$U_A = 33,75 \text{ В}, U_{\min} = -2,25 \text{ В}, x_m = 1,5 \text{ мм}, x_A = 13,5 \text{ мм}.$$



**23.21.\*** В вакуумном диоде зависимость силы тока от напряжения имеет вид  $I = cU^{3/2}$ , где  $c$  – некоторая постоянная. Во сколько раз увеличится сила давления на анод, возникающая из-за неупругих ударов электронов о его поверхность, если напряжение на аноде увеличить в два раза?

**23.22.** В вакуумном диоде в определенном интервале напряжений зависимость силы тока от разности потенциалов между электродами может быть записана в виде:

$$I(U) = AU + BU^2.$$

Найти ток через лампу, если она подключена к батарее с ЭДС  $\varepsilon = 120$  В последовательно с сопротивлением  $R = 20$  кОм. Для данной лампы  $A = 0,15$  мА/В,  $B = 0,005$  мА/В<sup>2</sup>. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

**23.23.** В телевизионном кинескопе ускоряющее анодное напряжение равно 16 кВ, а расстояние от анода до экрана составляет 30 см. За какое время электроны проходят это расстояние?

**23.24.** В электроннолучевой трубке поток электронов с кинетической энергией  $W = 8$  кэВ движется между пластинами плоского конденсатора длиной  $L = 4$  см. Расстояние между пластинами  $d = 2$  см. Какое напряжение надо подать на пластины конденсатора, чтобы смещение электронного пучка на выходе из конденсатора оказалось равным  $y = 0,8$  см?

**23.25.** В электроннолучевой трубке поток электронов ускоряется полем с разностью потенциалов  $U = 5$  кВ и попадает в пространство между вертикально отклоняющими пластинами длиной  $x = 5$  см, напряженность поля в пространстве между которыми  $E = 40$  кВ/м. Найти вертикальное смещение луча на выходе из пространства между пластинами.

**23.26.** Вычислите чувствительность электроннолучевой трубки по напряжению, т.е. отношение отклонения пятна на экране к напряжению на управляющих пластинах, вызвавшему это отклонение. Параметры и рабочие характеристики электроннолучевой трубки задайте самостоятельно.



## О Т В Е Т Ы

### ЭЛЕКТРОСТАТИКА

#### *Закон Кулона*

16.2.  $q_1 \approx 3,8 \cdot 10^{-5}$  Кл;  $q_2 \approx 1,2 \cdot 10^{-5}$  Кл

16.3.  $q_1 \approx + 2,7 \cdot 10^{-7}$  Кл;  $q_2 \approx - 0,7 \cdot 10^{-7}$  Кл

16.4.  $\rho = 1,6$  Г/см<sup>3</sup>

16.5.  $a_1 = \sqrt[3]{\frac{1}{4}}$   $a \approx 3,1$  см

16.6.  $q_1 = - \frac{q}{\sqrt{3}}$

16.7.\*  $Q \geq 8\pi\epsilon_0 mgd^2/q$

16.8.  $m = \frac{kq^2}{2gh^2} \sqrt{\frac{h}{2R}} = 10$  г

16.9.\*  $R = (ke^2/mV^2)(2^{4/3} - 1) \approx 1,52 ke^2/mV^2$

16.10.  $F = qQ/8\pi^2\epsilon_0 R^2$

16.11.  $2\alpha = 2 \arctg (q/Q)^{2/3}$

#### *Напряженность и потенциал электрического поля.*

#### *Теорема Гаусса.*

17.1.  $E = \frac{2kq}{a^2} \cdot \cos\alpha$

17.2.  $R > \sqrt{\frac{kQ}{E_0}} \approx 55$  м

17.3.  $E_3 = 16$  В/м

17.4.  $\varphi_C = 24 \text{ В}$

17.5. а)  $E \approx k \frac{2P}{r^3}$ ; б)  $E \approx k \frac{P}{r^3}$

17.6.  $R = 15 \text{ см}$

17.9. а)  $E(0) = 0$ ;  $\varphi(0) = k \frac{q}{R}$

$$\text{б) } E(x) = kq \frac{x}{\sqrt{(x^2 + R^2)^3}}; \quad \varphi(x) = kq \frac{x}{\sqrt{(x^2 + R^2)}}$$

17.15.  $\sigma_1 = 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$ ;  $\sigma_2 = -1,8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл/м}^2$

17.18.  $E_A = \rho h / 6\epsilon_0$ ;  $E_B = \rho h / 3\epsilon_0$ ;  $E(r) = \rho r / 3\epsilon_0$

17.19.  $\rho \approx 4,4 \cdot 10^{-13} \text{ Кл/м}^3 = 440 \text{ нКл/см}^3$

*Проводники и диэлектрики в электрическом поле.*

18.1.  $q = \pm \epsilon_0 ES$

18.2.  $\varphi = (\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2) / (R_1 + R_2)$

18.3.  $Q_1 = -Q$ ;  $Q_2 = +2Q$

18.4. На внешних сторонах пластин:  $\sigma_1' = \sigma_2' = (q_1 + q_2) / 2S$ ;  
На внутренних сторонах пластин:  $\sigma_1'' = -\sigma_2'' = (q_1 - q_2) / 2S$ ;

18.5.  $\varphi_1 = kQ/R$ ;  $\varphi_2 = kQ/2R$ ;  $\varphi_3 = 0$

18.6.  $\Delta\varphi = \varphi \left( \frac{R_1}{R_2} - 1 \right) < 0$

18.7.  $\varphi' = \varphi \left( 1 - \frac{R_1}{R_2} \right)$

18.8.  $q_1 = -8\pi\epsilon_0 R\varphi$ ;  $q_2 = 16\pi\epsilon_0 R\varphi$

$$18.10. \Delta\varphi = k \frac{q}{2r}$$

$$18.11. q = \pm Q \frac{r}{2R}$$

$$18.13. Q = -q \frac{R}{r}$$

$$18.17. \sigma' = \frac{q(\varepsilon - 1)}{S\varepsilon}$$

$$18.18. \sigma' = \frac{2q(\varepsilon - 1)}{S(\varepsilon + 1)}$$

$$18.19^* \sigma(r) = \frac{q}{2\pi} \frac{h}{\sqrt{(r^2 + h^2)^3}}$$

$$18.20. E = 99 \text{ В/м}$$

*Движение заряженных частиц в электрическом поле.  
Взаимодействие заряженных тел.*

$$19.1. s \approx 7,1 \text{ см}; t \approx 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ с};$$

$$19.2. V \approx 8,4 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$19.3. \varphi = 190 \text{ В}$$

$$19.4. E = \frac{mV^2}{eL} \operatorname{tg}\alpha$$

$$19.5. U = 150 \text{ В}$$

$$19.6. V_0 = \frac{L}{d} \sqrt{\frac{qU}{m}} = 30 \text{ м/с}$$

$$19.7. X_p: X_\alpha = 2$$

$$19.8. \frac{q}{m} = \frac{gd}{U} \left(1 + \frac{t_1}{t_2}\right) = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

$$19.9. \quad d^2 = k \frac{qQ}{E} \frac{(M+m)}{(Qm+qM)}$$

$$19.10.* \quad f = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0} = \frac{Q^2}{32\pi^2\varepsilon_0 R^4}$$

$$19.11. \quad F = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0} S; \quad f = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}$$

$$19.12. \quad f = \frac{q^2}{S^2} \cdot \frac{(\varepsilon^2 - 1)}{2\varepsilon_0 \varepsilon^2}$$

$$19.13. \quad F = 4F_0$$

$$19.14. \quad F = 9F_0$$

$$19.15. \quad F = k \frac{q^2}{4d^2}$$

$$19.17. \quad A = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$19.18. \quad A = \frac{5}{3} k \frac{q^2}{r}$$

$$19.19. \quad r = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$$

$$19.20. \quad r = 10 \cdot 10^{-8} \text{ см} = 1 \text{ нм}$$

$$19.21. \quad W = k \frac{q^2}{4d}$$

$$19.22. \quad V^2 = \frac{e}{m} \frac{\gamma}{\varepsilon_0}$$

$$19.23. \quad V_{\min} = \frac{q}{\sqrt{2\pi\varepsilon_0 ml}} \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}} - 1}$$

$$19.24. \quad V^2 = \frac{1}{2\pi\varepsilon_i} \frac{q^2}{mr_0}$$

$$19.25. \quad A = \frac{q^2}{8\pi\varepsilon_0 L} \left(1 - \frac{15q^2}{64\pi\varepsilon_0 kL^3}\right)$$

*Энергия электрического поля.*

19.26  $W = k \frac{Q^2}{2R}$

19.27.  $A = \frac{Q^2}{8\pi\epsilon_0} (1 - N^{-2/3}); \quad W = 4\pi R^2 \sigma (N^{1/3} - 1)$

19.28.  $W = 2 \cdot 10^{-4}$  Дж

19.29.\*  $\Delta W = \frac{Q^2 r}{16\pi\epsilon_0 R^2}$

19.30.  $\Delta W = 2\pi\epsilon_0 \frac{\varphi^2 R_1^2}{R_2}$

19.31.  $\Delta W = 2\pi\epsilon_0 \varphi^2 R_1 (1 - \frac{R_1}{R_2})$

19.32.  $q = S \sqrt{2\epsilon_0 w} = 47$  нКл

*Електроємкость. Конденсаторы*

20.2.  $\varphi = \frac{C_1 \varphi_1 + C_2 \varphi_2}{C_1 + C_2}$

20.3.  $W = 1,2 \cdot 10^{-4}$  Дж

20.4.  $\Delta\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} (\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}); \quad \sigma'_{1,2} = Q(\epsilon - 1)/\epsilon S_{1,2};$

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

20.5.\*  $U_{\max} = 30$  кВ

20.6. *a)*  $C = \epsilon_0 S [1 + (\epsilon - 1)L_1/L]/d;$  *b)*  $C = \epsilon_0\epsilon S/[d_1 + \epsilon(d - d_1)]$

20.7. *a)*  $\varphi = 60$  В;  $E = 20$  В/см;  $C_2 = C_1;$

*b)*  $\varphi = 75$  В;  $E = 25$  В/см;  $C_2 = \frac{5}{4} C_1$

**20.8.**  $U_1 = 80 \text{ В}; U_2 = 40 \text{ В}$

**20.9.**  $\frac{U'}{U} = \frac{2\varepsilon}{\varepsilon + 1} = \frac{4}{3}$

**20.10.**  $C_0 = 0,6 \text{ мкФ}$

**20.11.** *a*)  $C_0 = 3C$     *b*)  $C_0 = 5C/3$     *c*)  $C_0 = C$

**20.12.**  $U_1 = \frac{5}{8} U_0; U_2 = \frac{3}{8} U_0; U_3 = \frac{1}{4} U_0; U_4 = 0; U_5 = U_6 = \frac{1}{8} U_0$

**20.13.**  $U_1 = 1 \text{ В}; U_2 = \frac{2}{3} \text{ В}; U_3 = \frac{1}{3} \text{ В}$

**20.14.**  $\varphi_0 = (C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2 + C_3\varphi_3)/(C_1 + C_2 + C_3)$

**20.15.** *a*)  $Q_1 = C_1E_1; Q_2 = C_2(E_1 - E_2);$

*b*)  $Q_1 = C_1E_1; Q_2 = C_2(E_1 + E_2); Q_3 = C_3(E_1 + E_2 - E_3)$

**20.16.** *a*)  $Q_1 = \frac{C}{3}(2E_1 - E_2); Q_2 = \frac{C}{3}(E_1 - 2E_2); Q_3 = \frac{C}{3}(E_1 - E_2)$

*b*)  $Q_1 = \frac{C}{4}(3E_1 + 2E_2 + E_3); Q_2 = \frac{C}{4}(E_1 - 2E_2 - E_3);$

$Q_3 = \frac{C}{4}(E_1 + 2E_2 - E_3); Q_4 = \frac{C}{4}(E_1 + 2E_2 + 3E_3);$

**20.18.**  $\Delta Q = Q \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$

**20.19.** *a*)  $\Delta q = CE$

*b*)  $\Delta q = (C_2 + 2C_1)E$

*c*)  $\Delta q = E(C_1C_4 - C_2C_3)/(C_1 + C_2 + C_3 + C_4)$

**20.20.\***  $W = \frac{C_0 E^2}{2} (\varepsilon - 1)^2 = 2 \text{ Дж}$

**20.21.** *a*) Сила не изменится;  $W_2 : W_1 = 3 : 1;$

*б*)  $F_2 : F_1 = 1 : 9; W_2 : W_1 = 1 : 3$

**20.23.**  $W_{\text{тепл}} = 0,9 CE^2$

$$20.24. W_{\text{тепл}} = \frac{1}{12} CE^2$$

## ПОСТОЯННЫЙ ТОК

### *Электрические цепи. Закон Ома. Правила Кирхгофа*

$$21.1. I \approx 3,3 \cdot 10^{-7} \text{ A}$$

$$21.2. R = \frac{\rho \varepsilon \varepsilon_0}{C}$$

$$21.4. R_1 = 10 \text{ Ом}; R_2 = 30 \text{ Ом}$$

$$21.5. \frac{L_1}{L_2} = \frac{5 + \sqrt{15}}{5 - \sqrt{15}}$$

$$21.7. R_1 = 20 \text{ Ом}; R_2 = 60 \text{ Ом}; R_3 = 40 \text{ Ом}$$

$$21.8. I_1 = 1 \text{ A}, I_2 = 0, I_3 = 1 \text{ A}$$

$$21.9. I_{\text{CD}} = 0,5 \text{ A}$$

$$21.10. R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} = 6 \text{ Ом}$$

$$21.11. I_A = 0,75 \text{ A}$$

$$21.12. R_0 = R$$

$$21.13. R = 3 \text{ Ом}$$

$$21.14. R = r/2$$

$$21.15. R = 5r/6$$

$$21.16. R_{\text{AB}} = 13/7 \text{ Ом}$$

$$21.17. r_i = R_j R_k / (R_i + R_j + R_k), \text{ где } i, j, k = 1, 2, 3.$$

**21.20.**  $U_{CD} = 20 \text{ В}$

**21.21.**  $U = 40 \text{ В}$

**21.22.\***  $V_2 = 4 \text{ В}$

**21.24.\***  $R = \frac{8}{3} \text{ Ом}$

**21.25.\***  $R_{AB} = \frac{2R}{N}$

**21.26.\***  $R_{\infty} = R(\sqrt{3} + 1)$

**21.27.**  $R = 261 \text{ Ом}$

**21.28.**  $R_{\text{доб}} = 1 \text{ МОм}; R_{\text{шт}} = 0,1 \text{ Ом}$

**21.29.**  $R = 105,5 \text{ Ом}$

**21.30.**  $\Delta R/R = 5 \%$

**21.31.**  $r = R\left(\frac{Q_1}{Q_2} - 1\right) = 22,5 \text{ Ом}$

**21.32.**  $Q = C\varepsilon \frac{3R}{5R + r} = 5,4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$

**21.33.**  $Q = C\varepsilon \frac{R}{2R + 3r} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$

**21.34.**  $Q = \frac{2}{3} C\varepsilon = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$

**21.35.**  $U_1 = 5,25 \text{ В}; U_2 = 1,75 \text{ В}$

**21.36.**  $\Delta Q = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$

**21.37.**  $\Delta Q = \frac{11}{6} C\varepsilon$



$$21.38. U_{AB} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$$

$$21.39. U = \frac{1}{3} \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

*Закон Ома для неоднородного участка цепи. ЭДС.*

$$21.40. \varepsilon = 1,42 \text{ В}$$

$$21.41. r = 1 \text{ Ом}, \varepsilon = 3 \text{ В}$$

$$21.42. I_{K3} = 0,47 \text{ А}$$

$$21.43. \varepsilon = 4,1 \text{ В}; r = 0,05 \text{ Ом}$$

$$21.44. R = r_1 - r_2, r_1 > r_2; \Delta\varphi_1 = 0$$

$$21.47. \frac{r_1}{r_2} = \frac{2}{3}$$

$$21.49. R = 0,66 \text{ Ом}$$

$$21.50. I = \frac{\varepsilon_1 r_2 - \varepsilon_2 r_1}{r_1 r_2};$$

$$21.51. U_{AB} = \frac{5}{6} \text{ В}$$

$$21.52. I_1 = 5,24 \text{ А}; I_2 = 1,59 \text{ А}; I_3 = 3,65 \text{ А}$$

$$21.53. I = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{r_2} = 4 \text{ А}$$

*Нелинейные элементы в цепях постоянного тока*

21.54.\*  $\varepsilon = U_0 + 2r \frac{I_1 I_2}{(I_1 - I_2)} = 200 \text{ В}$

21.55.\*  $I = 2,5 \text{ А}$

21.56.\*  $I = \frac{\varepsilon}{R} + \frac{1 - \sqrt{1 + 4R\alpha\varepsilon}}{2R^2\alpha}$

21.59.  $\varepsilon = \frac{nU}{n-1} = 3,5 \text{ В}$

21.60.  $R \leq 40 \text{ кОм}$

21.61.  $\varepsilon = 50 \text{ кВ}$

21.62.\*  $R = \varepsilon_0 \rho / C = 885 \text{ Ом}$ , где  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная

21.63.  $V \approx \frac{1}{2} U(\alpha_1 - \alpha_2)t$

21.64.  $F = \frac{0,32C\varepsilon^2}{d}$

*Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.*

22.1.  $W_1/W_2 = 2,5$

22.2.  $P_2/P_1 = 1,5$

22.3. 72 Вт, 16 Вт, 32 Вт

22.4.  $R = 885,5 \text{ Ом}$

22.5.  $P = 6,4 \text{ Вт}$

22.6.\*  $r = 5R$

**22.7.**  $\tau_1 = 6$  мин;  $\tau_2 = 25$  мин

**22.8.**  $P = 8$  Вт

**22.9.**  $r = \frac{U_o^2}{PU_2} (U_1 - U_2) = 5$  Ом

**22.10.**  $L_2 = 40$  см

**22.11.**  $P_\phi = 1,4$  кВт

**22.12.** В 13 раз

**22.13.**  $t^o = 2200$  °С

**22.14.**  $\alpha = 4,5 \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>;  $R_o = 14,4$  Ом

*Закон Джоуля-Ленца для замкнутой цепи.*

**22.18.**  $\varepsilon = 6$  В;  $r = 1$  Ом

**22.19.**  $r = 6$  Ом

**22.20.**  $R_x = 44,4$  Ом

**22.21.**  $r = 30$  Ом

**22.22.**  $P = 4,5$  Вт

**22.23.**  $I_1 = 1,5$  А;  $I_2 = 0,5$  А

**22.24.**  $\eta_1 = 67$  %;  $\eta_2 = 33$  %

**22.25.**  $I_o = 62$  А

**22.26.**  $P = 267$  Вт

22.27.  $P = 13,5 \text{ Вт}$

22.28.  $P_2 = 12 \text{ Вт}$

22.29.  $\eta = 78 \%$ ;  $r = 1,2 \text{ Ом}$

22.30.  $\eta = 80 \%$

22.31.  $N = 5$

22.32.  $U = 13,2 \text{ В}$ ;  $P_1 = 9 \text{ Вт}$ ;  $P_2 = 13,5 \text{ Вт}$

22.33.  $\tau = (\epsilon_2 - \epsilon_1) \frac{Q}{P} = 10 \text{ ч}$

22.34.  $W_{\text{хим}} = C(U - \epsilon)\epsilon$ ;  $W_{\text{тепл}} = \frac{1}{2} C(U - \epsilon)^2$

22.35.  $t_3 = 560^\circ\text{C}$

22.36.  $I_2 \approx 28 \text{ А}$

22.37.  $T = \sqrt{\frac{2W}{k^2 R}} = 6 \text{ с}$

22.38.\*  $P = 0,43 \text{ Вт}$

22.39.\*  $P = 6,4 \text{ Вт}$

*Передача электроэнергии на расстояние. Электрические машины постоянного тока.*

22.40.  $U = 200 \text{ В}$

22.41.  $d = 3,3 \text{ мм}$

22.42.  $U = 2 \frac{Lj\rho}{n} = 4,25 \text{ кВ}$

22.43.  $m = 2140 \text{ кг}$

22.44.  $m = 6,25 \text{ кг}$

22.45.  $\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{(U_1^2 - PR)}{(U_2^2 - PR)} \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 1,5$

22.46.  $R_H = 9,5 \text{ кОм}$

22.47.  $\frac{U_2}{U_1} = 10$

22.48.  $P = 2,2 \text{ кВт}; \eta \approx 90\%$

22.49.  $N_{\text{мех}} = 96 \text{ Вт}$

22.50.  $\eta = 80\%$

22.51.  $V \leq \frac{U^2}{4mgR} \approx 3,7 \text{ м/с}$

*Электрический ток в жидкостях. Электролиз.  
Электрический ток в газах и вакууме.*

23.2.  $k = 0,3 \text{ мг/Кл}$

23.3.  $h = 15,5 \text{ мкм}$

23.4.  $W = 37 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$

23.5.  $W = 140 \text{ кДж}$

23.6.  $m = 445 \text{ г}$

23.7.  $q = 20 \text{ Кл}; m = 6,56 \text{ мг}$

23.8.  $k_2 = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$

**23.9.**  $P = \frac{1}{2} \varepsilon I = \frac{\varepsilon m e N_A}{2 \mu \tau} = 24 \text{ Вт}$

**23.10.\***  $n = \frac{2}{2+k}$

**23.11.\***  $\Delta m = \frac{m C_2 \varepsilon_2}{(C_1 + C_2) \varepsilon_1}$

**23.12.**  $I = 10 \text{ мкА}; U = 3 \text{ кВ}$

**23.13.**  $I = 8 \cdot 10^{-8} \text{ А};$

**23.14.**  $E = 3 \cdot 10^6 \text{ В/м}; V = 2,3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$

**23.15.**  $\lambda = 1,8 \text{ мм}$

**23.16.**  $V = 1,9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$

**23.17.**  $U = 216 \text{ В}$

**23.18.**  $U = 90 \text{ В}$

**23.19.**  $U = 180 \text{ В}$

**23.20.**  $E_{\min} = 2,25 \text{ эВ}, \tau = 10^{-8} \text{ с}$

**23.21.\***  $\frac{F_2}{F_1} = \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 4$

**23.22.**  $I = 5 \text{ мА}$

**23.23.**  $t = 4 \text{ нс}$

**23.24.**  $U = 3,2 \text{ кВ}$

**23.25.**  $y = 0,5 \text{ см}$

## Содержание

### ЭЛЕКТРОСТАТИКА

1. *Закон Кулона* 3
2. *Напряженность и потенциал электрического поля. Теорема Гаусса.* 5
3. *Проводники и диэлектрики в электрическом поле.* 9
4. *Движение заряженных частиц в электрическом поле. Взаимодействие заряженных тел.* 13
5. *Энергия электрического поля.* 18
6. *Емкость. Конденсаторы.* 19

### ПОСТОЯННЫЙ ТОК

7. *Электрические цепи. Закон Ома. Правила Кирхгофа.* 25
8. *Закон Ома для неоднородного участка цепи. ЭДС.* 33
9. *Нелинейные элементы в цепях постоянного тока* 36
10. *Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца.* 39
11. *Закон Джоуля-Ленца для замкнутой цепи.* 42
12. *Передача электроэнергии на расстояние. Электрические машины постоянного тока.* 47
13. *Электрический ток в жидкостях. Электролиз. Электрический ток в газах и вакууме.* 49

### ОТВЕТЫ

55





# Сборник задач по физике

Часть III. Электростатика

Часть IV. Постоянный ток

Корнеева Татьяна Петровна

Школа имени академика А.Н. Колмогорова  
Специализированный учебно-научный центр  
Московского государственного университета им.  
М.В.Ломоносова  
Кафедра физики

2012 г.