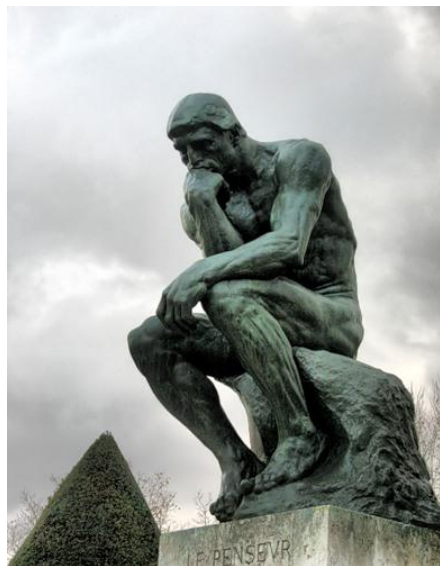


Примеры решения задач



Закон Кулона

Система неподвижных электрических зарядов взаимодействует между собой посредством **электрического поля**. Взаимодействие осуществляется не мгновенно, а со скоростью распространения света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Основной закон электростатического взаимодействия неподвижных то

чечных (размеры заряженных тел на много меньше расстояния между ними) был сформулирован в 1785 г. французским физиком **Шарлем Огюстом Кулоном (1736 – 1806)**.

Закон Кулона: сила электрического взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами в вакууме пропорциональна произведению модулей их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \frac{\vec{r}}{r},$$

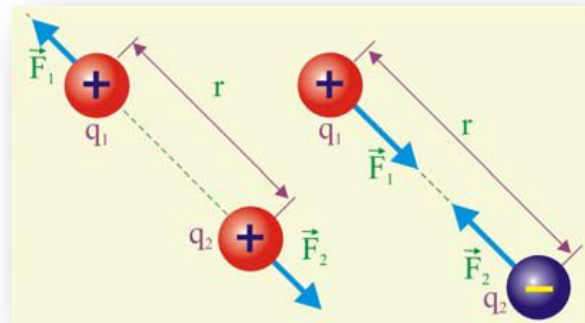
где $\epsilon_0 \cong 9 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н·м²)



При решении задач закон Кулона удобнее представлять в скалярной форме

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cong 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2.$$



Кулон (Кл) – единица электрического заряда определяемая как количество электричества, проходящее через поперечное сечение проводника при силе тока в 1 А за время 1 с.

Кулон является весьма большой величиной. Так, например, два заряда $q_1 = q_2 = 1 \text{ Кл}$, помещённые на расстояние $r = 1 \text{ м}$, взаимодействуют в соответствии с (1.3) с силой $F \cong 9 \cdot 10^9 \text{ Н}$ (вес 900 тыс. тонн груза). На практике используют чаще всего микрокулоны ($1 \text{ мкКл} = 10^{-6} \text{ Кл}$) и нанокулоны ($1 \text{ нКл} = 10^{-9} \text{ Кл}$).

Влияние среды на взаимодействие электрических зарядов определяется безразмерной величиной ϵ – **диэлектрической проницаемостью среды**. Диэлектрическая проницаемость показывает, во сколько раз сила кулоновского взаимодействия в данной среде меньше чем в вакууме:

$$F = \frac{k}{\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Задача I.

Четыре равных по величине заряда находятся в вершинах квадрата. Как будут вести себя заряды, будучи предоставленными, самим себе: сближаться, отдаляться или находится в равновесии?

Решение.

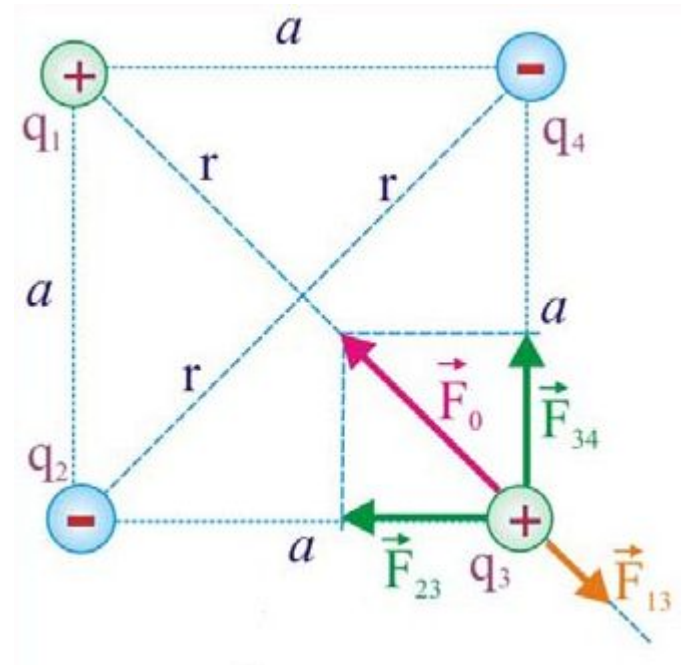
Выделим один из зарядов, например, q_3 и рассмотрим действующую на него систему сил Кулона:

$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{23} + \vec{F}_{34}; \quad |\vec{F}_{23}| = |\vec{F}_{34}| = |\vec{F}|;$$

$$|\vec{F}_0| = \sqrt{F^2 + F^2} = F\sqrt{2} = k\sqrt{2} \frac{q^2}{a^2};$$

$$|\vec{F}_{13}| = k \frac{q^2}{(a\sqrt{2})^2} = k \frac{q^2}{2a^2};$$

$$|\vec{F}_0| > |\vec{F}_{13}| \Rightarrow \text{Ответ: заряды сближаются}$$



Задача 2.

К шёлковым нитям длиной $l = 0,2$ м, точки подвеса которых находятся на одном уровне на расстоянии $x = 0,1$ м друг от друга, подвешены два маленьких шарика массой $m = 50$ мг каждый. При сообщении шарикам равных по модулю и противоположных по знаку зарядов, шарики сблизились на расстояние $r = 2$ см. Определить заряды, сообщённые шарикам.

Решение.

Угол отклонения нити от равновесного положения φ определим из прямоугольного треугольника ΔOAB :

$$\varphi = \arcsin \frac{\Delta x}{l} \approx \arcsin \frac{0,04}{0,2} \approx 11,5^\circ;$$

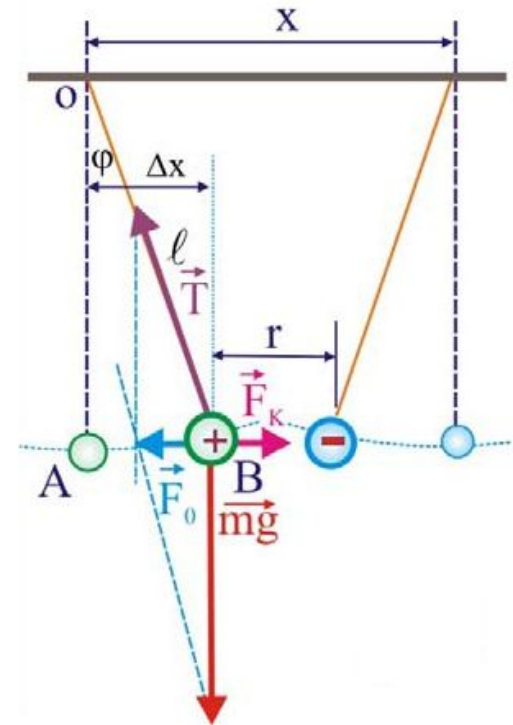
Натяжение нити:

$$T \cos \varphi = mg; \Rightarrow T = \frac{mg}{\cos \varphi}.$$

Отсюда

$$T \sin \varphi = F_0; \Rightarrow F_0 = mgtg\varphi = k \frac{q_x^2}{r^2}; \quad q_x = \sqrt{\frac{mgtg\varphi r^2}{k}};$$

Ответ: $q_x = 2,1$ нКл



Задача 3.

Два одинаковых металлических шарика заряжены так, что заряд одного из них в пять раз больше другого. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Как изменится сила взаимодействия, если шарики были заряжены:

1. одноимённо? 2. разноимённо?

Решение.

1. Одноименно заряженные шарики:

$$q_x = \frac{5q + q}{2} = 3q;$$

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = k \frac{q \cdot 5q}{r^2}; \\ F_2 = k \frac{3q \cdot 3q}{r^2}; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{9}{5} = 1,8;$$

2. Разноименно заряженные шарики:

$$q_x = \frac{5q - q}{2} = 2q;$$

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = k \frac{q \cdot 5q}{r^2}; \\ F_2 = k \frac{2q \cdot 2q}{r^2}; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{4}{5} = 0,8;$$

Электрическое поле

Электрическим полем называется часть пространства, в котором проявляются электрические силы. Представление об электрическом поле было введено в науку М. Фарадеем в 19 в. Согласно Фарадею, каждый покоящийся заряд создаёт в окружающем пространстве электрическое поле. Поле одного заряда действует на другой заряд, и наоборот; так осуществляется взаимодействие зарядов.

Для характеристики электрических полей оказалось более полезным рассматривать не силу Кулона в каждой точке поля, а отношение силы Кулона к пробному заряду.

Для изолированного точечного заряда, расположенного в вакууме или сухом воздухе, напряжённость создаваемого им электрического поля определяется непосредственно из уравнения закона Кулона:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^3} \vec{r}.$$

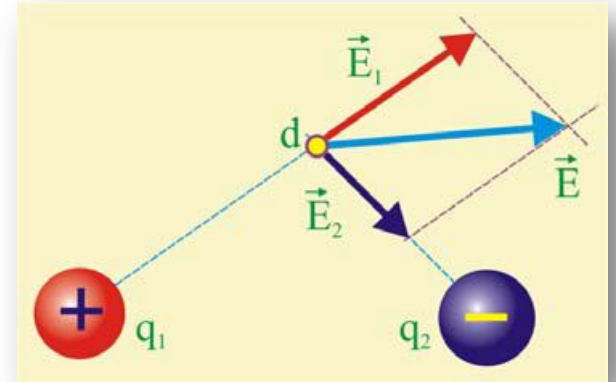
Майкл Фарадэй (1791 -1867) — английский физик-экспериментатор, химик . Основоположник учения об электромагнитном поле.



Пусть электрическое поле создаётся двумя точечными зарядами q_1 и q_2 с напряженностями \mathbf{E}_1 и \mathbf{E}_2 . Результирующее поле может быть найдено по правилам сложения векторов, т.е. путём геометрического сложения:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$|\vec{E}| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos(\vec{E}_1; \vec{E}_2)}.$$

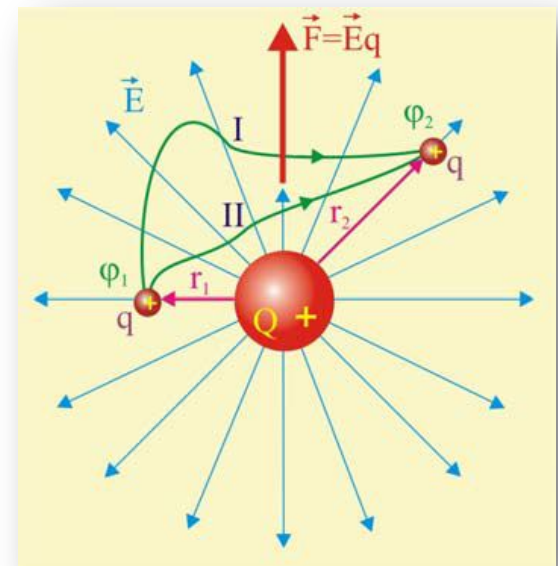


Найдём далее работу, совершаемую силой Кулона на элементарном перемещении заряда:

$$\delta A = \vec{F}_K d\vec{r}.$$

В поле точечного заряда работа на конечном перемещении определится в виде интеграла:

$$A_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{qQ\vec{r}}{r^3} d\vec{r} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2}$$



Интеграл работы не зависит от положения начальной и конечной точек, а так же от формы траектории, по которой перемещается заряд q , а определяется только положениями начальной и конечной точек перемещения:

$$A_{1 \rightarrow 2} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Свойство **потенциальности** обусловлено тем обстоятельством, что в электростатических полях проявляются **консервативные силы**, дающие возможность каждую точку поля охарактеризовать с энергетических позиций. Работа, совершаемая в электростатическом поле, совершается за счёт уменьшения потенциальной энергии (Π) заряда.

$$A_{1 \rightarrow 2} = \Pi_2 - \Pi_1$$

Полученные выше уравнения работы показывают, что так же как и напряжённость, работа пропорциональна величине заряда. В этой связи целесообразно рассмотреть отношение потенциальной энергии поля Π к пробному заряду q , что даст новую характеристику поля – потенциал. Работу электрического поля при перемещении заряда q из точки 1 в точку 2 можно определить как разность потенциалов поля в этих точках:

$$A_{1 \rightarrow 2} = q(\varphi_1 - \varphi_2) = \Pi_1/q, \quad \varphi_2 = \Pi_2/q.$$

Задача 4.

Проводящий шар радиусом $R = 0,3$ м имеет поверхностную плотность заряда $\sigma = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл/м². Найти напряжённость поля в точке, находящейся на расстоянии $r = 0,7$ м от поверхности шара, находящемся в жидкости с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$.

Решение.

$$E = \frac{k q}{\epsilon r^2} = \frac{k 4\pi R^2 \sigma}{\epsilon r^2} \approx \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 0,09 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 0,49} \approx 207,8 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

Задача 5.

В какой среде точечный заряд $q = 4,5 \cdot 10^{-7}$ Кл создаёт на расстоянии $r = 5$ см от себя электрическое поле напряжённостью $E = 2 \cdot 10^4$ В/м?

Решение.

$$E = \frac{k q}{\epsilon r^2}; \Rightarrow E \epsilon r^2 = k q; \quad \epsilon = \frac{k q}{E r^2} \approx \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4,5 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}} \approx 81 \text{ (вода)}$$

Задача 6.

Два заряда $q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = 1,6 \cdot 10^{-6}$ Кл расположены на расстоянии $L = 5$ см друг от друга. Найти напряжённость поля в точке, удалённой от первого заряда на $r_1 = 3$ см и от второго заряда на $r_2 = 4$ см.

Решение.

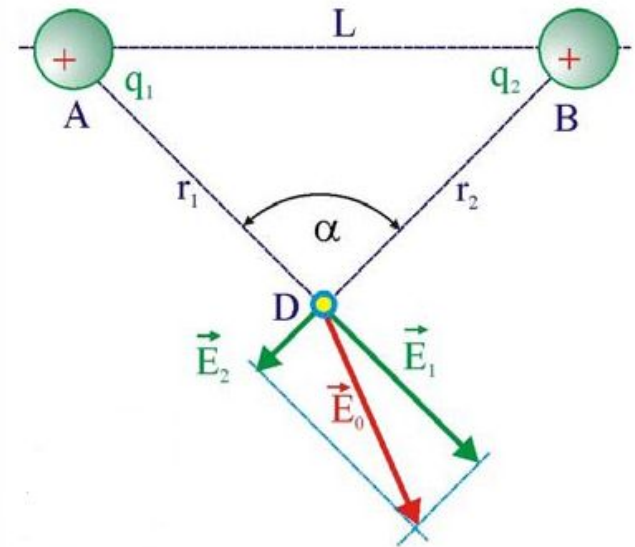
Модули напряжённостей поля, создаваемого зарядами в заданной точке:

$$|\vec{E}_1| = k \frac{q_1}{r_1^2} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-8}}{9 \cdot 10^{-4}} \approx 2 \cdot 10^5 \frac{\text{В}}{\text{м}};$$

$$|\vec{E}_2| = k \frac{q_2}{r_2^2} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{1,6 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-3}} \approx 9 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}};$$

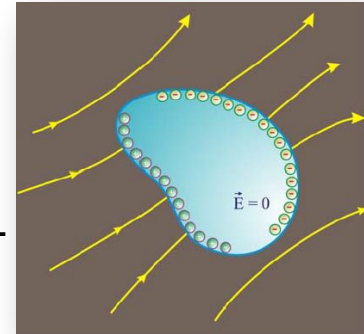
Заданные расстояния указывают, что $\triangle ADB$ прямоугольный, т.е. $\alpha = \pi/2$, следовательно:

$$|\vec{E}_0| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \approx 9 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}};$$



Электрическая ёмкость

Если нейтральный проводник поместить в электрическое поле, то через короткое время за счёт индукции произойдёт разделение зарядов проводника, которые разместятся на его поверхности. Напряжённость поля внутри проводника будет равна нулю, а поверхность будет представлять собой эквипотенциальную поверхность.



Электрический потенциал на поверхности проводника пропорционален его заряду:

$$Q = C\varphi$$

Коэффициент пропорциональности между зарядом и потенциалом проводника C называется **электроёмкостью**.

Электрическая ёмкость проводника или системы проводников – физическая величина, характеризующая способность накапливать заряды.

Понятие ёмкости сложилось исторически в те времена, когда электрический заряд представлялся неосязаемой жидкостью, содержащейся в проводнике в большем или меньшем количестве.

Электрическая ёмкость измеряется в **фарадах** [Ф], 1 фарада – ёмкость такого проводника, при которой увеличение заряда проводника на 1 кулон увеличивает потенциал на 1 вольт. Такой ёмкостью обладает сфера радиусом $9 \cdot 10^9$ м (радиус Земли равен $\approx 6,4 \cdot 10^6$ м).

При решении практических задач используются следующие единицы ёмкости:

- 1 микрофарада (мкФ): $1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$;
- 1 нанофарада (нФ): $1 \text{ нФ} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ Ф}$;
- 1 пикофарада (пФ): $1 \text{ пФ} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$.

Плоский конденсатор с площадью обкладок S , расстоянием между ними d обладает электрической ёмкостью

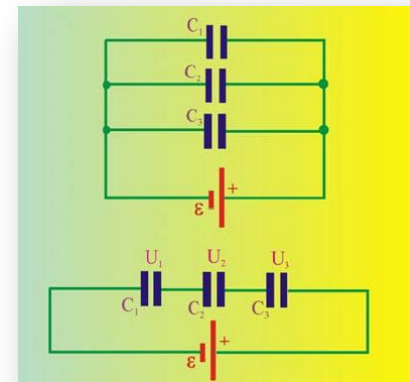
$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

При параллельном соединении конденсаторов ёмкость батареи равна сумме ёмкостей:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=n} C_i$$

При последовательном соединении конденсаторов ёмкость батареи в общем случае равна:

$$\frac{1}{C_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{C_i}$$



Энергия конденсатора равна:

$$W = \frac{CU^2}{2}$$

Задача 7.

Определить потенциал точки, расположенной на расстоянии $r = 2$ м от точечного заряда $q = 3 \cdot 10^{-7}$ Кл.

Решение.

$$\varphi = \frac{kq}{r} \approx \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-7}}{2} \approx 1,35 \cdot 10^3 \text{ В}$$

Задача 8.

Шар радиусом $R = 19$ см заряжен до потенциала $\varphi = 500$ В. Определить заряд шара и потенциал точки, находящейся на расстоянии $r = 41$ см от поверхности шара.

Решение.

$$\varphi = \frac{kq}{R}; \Rightarrow q = \frac{\varphi R}{k} \cong \frac{500 \cdot 0,19}{9 \cdot 10^9} \cong 10 \text{ нКл};$$

$$\varphi(r) = \frac{kq}{R+r} \cong \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-8}}{0,5} \cong 180 \text{ В};$$

Задача 9.

Какое расстояние должно быть между двумя плоскими пластинами, чтобы при разности потенциалов $U = 500$ В напряжённость поля составила $E = 2 \cdot 10^3$ В/м? Какая сила будет действовать на пылинку с зарядом $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл в этом поле? С каким ускорением станет двигаться пылинка массой $m = 10^{-9}$ кг?

Решение.

Расстояние между пластинами:

$$E = \frac{U}{d}; \Rightarrow d = \frac{U}{E} = \frac{500}{2 \cdot 10^3} = 0,25 \text{ м};$$

Сила Кулона, действующая на пылинку:

$$F_K = qE = 2 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^3 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ Н};$$

Ускорение пылинки:

$$F_K = ma; \quad a = \frac{F_K}{m} = \frac{4 \cdot 10^{-5}}{10^{-9}} = 4 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

Задача 10.

До какого потенциала зарядился сферический проводник радиусом $R = 0,1$ м, если ему сообщили заряд $Q = 2 \cdot 10^{-10}$ Кл?

Решение.

$$\varphi = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 R} = k \frac{Q}{R} \cong \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-10}}{0,1} \cong 18 \text{ В}$$

Задача 11.

Ёмкость двух металлических шаров $C_1 = 10$ пФ и $C_2 = 20$ пФ, они несут заряды $Q_1 = 17$ нКл и $Q_2 = 30$ нКл. Будут ли перемещаться электроны при соединении шаров проводником?

Решение.

Потенциалы шаров:

$$\varphi_1 = \frac{Q_1}{C_1} \cong \frac{17 \cdot 10^{-9}}{10^{-11}} \cong 1700 \text{ В}; \quad \varphi_2 = \frac{Q_2}{C_2} \cong \frac{30 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 10^{-11}} \cong 1500 \text{ В};$$

Так как потенциалы разные, будет перемещене заряда.

Задача 12.

К пластинам плоского конденсатора, находящимся на расстоянии друг от друга $d = 4$ мм, приложена разность потенциалов $U = 160$ В.

Пространство между пластинами заполнено стеклом ($\varepsilon = 7$), площадь обкладок $s = 10^{-2}$ м². Определить величину заряда на пластинах.

Решение.

Ёмкость конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 s}{d} \cong \frac{7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-3}} \cong 1,55 \cdot 10^{-10} \text{ Ф};$$

Заряд на пластинах:

$$Q = CU \cong 1,55 \cdot 10^{-10} \cdot 160 \cong 2,48 \cdot 10^{-8} \text{ Кл};$$

Задача 13.

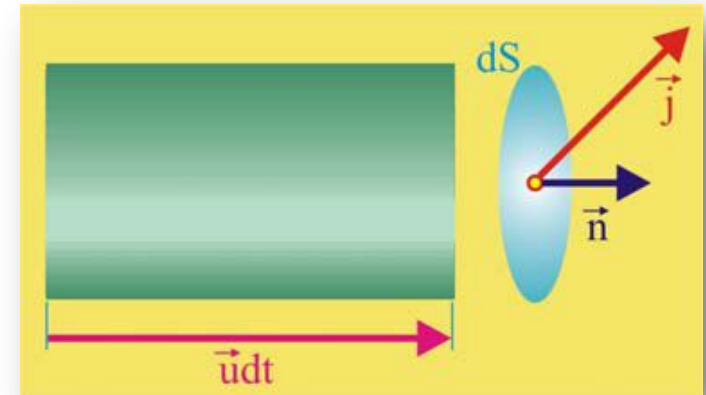
Плоский конденсатор, между обкладками которого находится слюдяная пластинка ($\varepsilon = 6$), присоединен к аккумулятору. Заряд конденсатора $Q_1 = 14$ мкКл. Какой заряд пройдет через аккумулятор при внезапном удалении пластинки?

Решение.

$$\left. \begin{array}{l} C_1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 s}{d}; \\ C_2 = \frac{\varepsilon_0 s}{d}; \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} \frac{C_1}{C_2} = \varepsilon; \\ Q_1 = C_1 U; \\ Q_2 = \frac{C_1}{\varepsilon} U; \end{array} \right\} \begin{array}{l} Q_2 = \frac{Q_1}{\varepsilon}; \\ \Delta Q = Q_1 \left(1 - \frac{1}{\varepsilon} \right) \cong 1,17 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}; \end{array}$$

Постоянный электрический

ток
Выделим в проводнике физически малый объём, внутри которого направленно движутся со средней скоростью носители заряда. Эта скорость называется дрейфовой.



Пусть в рассматриваемом металлическом проводнике в единице его объёма содержится n электронов. Выделим далее элементарную площадку dS , перпендикулярную вектору дрейфовой скорости, являющуюся основанием цилиндра с протяжённостью $u dt$. Все носители заряда, содержащиеся внутри этого цилиндра, через площадку dS за время dt перенесут заряд

$$dq = neu \, dS \, dt$$

Введем понятие плотности тока:

$$\frac{dq}{dSdt} = j = neu$$

Георг Симон Ом в 1825 г. опубликовал работу, в которой установил экспериментально зависимость между силой тока I и напряжением на концах проводника U (закон Ома для участка цепи)

$$I = \frac{U}{R} = GU;$$

$$R = \frac{\rho l}{S},$$

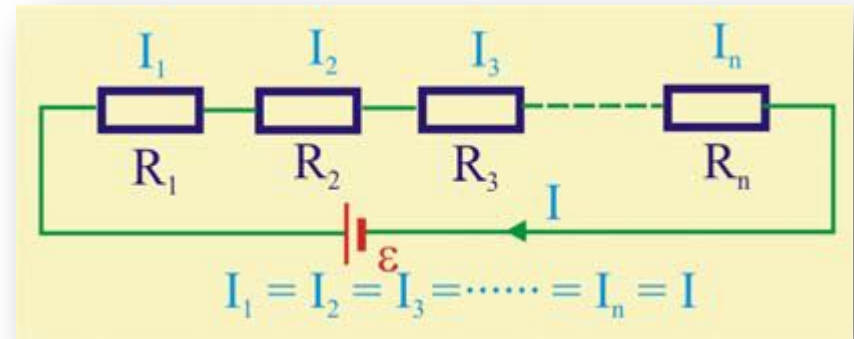
где R – электрическое сопротивление, измеряемое в Омах, G – проводимость материала проводника, ρ – удельное сопротивление, измеряемое в Ом · м, S – площадь поперечного сечения проводника, l – его длина.

Сопротивление зависит от внешних условий, особенно от температуры проводника. Экспериментально установлено, что

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t);$$

В реальных электрических цепях обязательно присутствует ЭДС источника ε и внутреннее сопротивление источника r . Закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

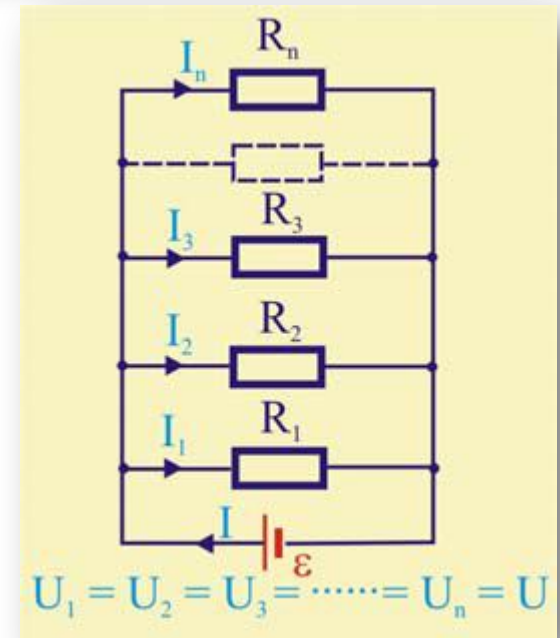


Последовательное соединение сопротивлений:

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

Параллельное соединение сопротивлений

$$\frac{1}{R_{\Sigma}} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{R_i} .$$



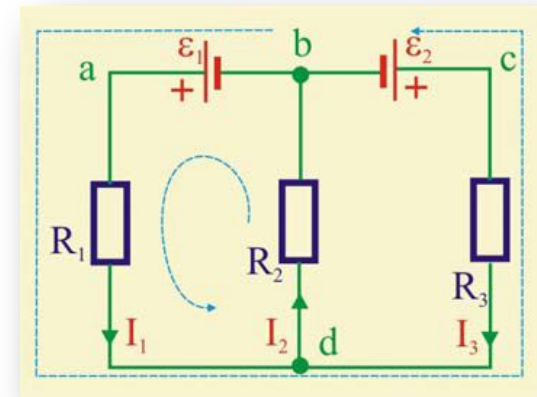
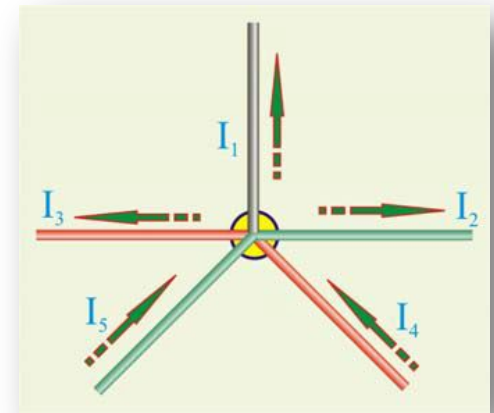
Правила Кирхгофа

Первое правило Кирхгофа. Это правило относится к узлам электрических цепей, т.е. точкам цепи, в которых сходится не менее трёх проводников. Если, принять за положительные направления подходящих к узлу токов, а отходящих – за отрицательные, то алгебраическая сумма токов в любом узле должна быть равна нулю:

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

Второе правило Кирхгофа является обобщением закона Ома и относится к замкнутым контурам разветвлённой цепи. В любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма произведений токов на сопротивления соответствующих участков контура равна алгебраической сумме ЭДС в этом контуре:

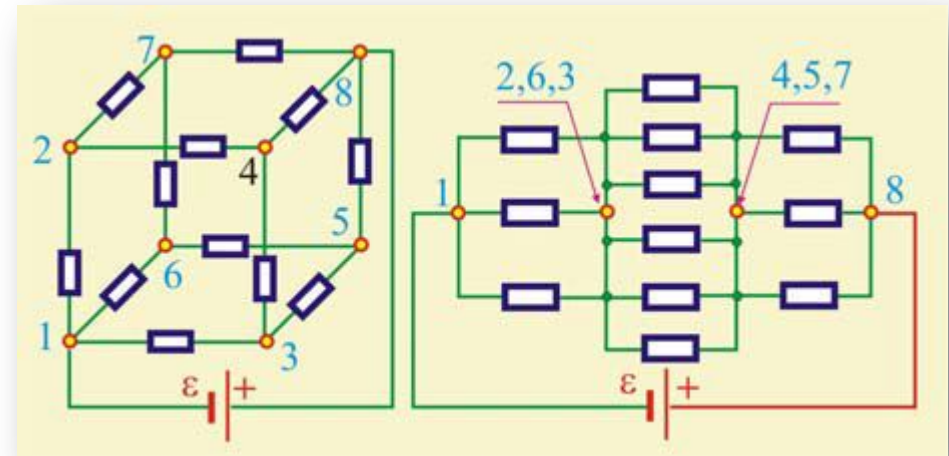
$$\sum_{i=1}^{i=n} I_i R_i = \sum_{i=1}^{i=n} \varepsilon_i$$



Использование правил Кирхгофа может привести к достаточно сложным алгебраическим уравнениям. Ситуация упрощается если цепь содержит некие симметричные элементы, в этом случае могут существовать **узлы с одинаковыми потенциалами** и ветви цепи с равными токами, это существенно упрощает уравнения.

Классическим примером такой ситуации является задача об определении сил токов в кубической фигуре, составленной из одинаковых сопротивлений:

В силу симметрии цепи потенциалы точек 2,3,6, так же как и точек 4,5,7 будут одинаковы, их можно соединять, так как это не изменит в плане распределения токов, но схема существенно упростится.



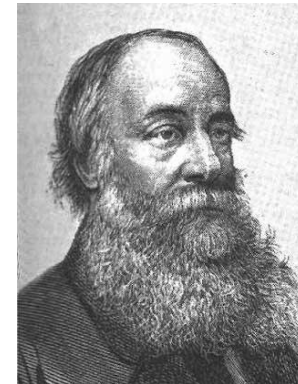
Закон Джоуля – Ленца

В неподвижном проводнике движущиеся носители заряда, в соответствии с классической теорией электропроводности, сталкиваются с атомами металла и, отдавая им энергию, повышают тем самым температуру проводника. Это было замечено и экспериментально, что всякий проводник, по которому течёт ток, имеет температуру выше окружающей среды. Другими словами, носители заряда, получая энергию от электрического поля, часть её расходуют на нагревание проводника.

Если сила тока и разность потенциалов в проводнике во времени не меняются, то количество тепла, выделившееся в проводнике за время Δt

$$\Delta Q = IU\Delta t = I^2 R \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t$$

Этот закон установлен был в 1841 г. Дж. Джоулем и в 1842 г. независимо, Эмилем Христофоровичем Ленцем, профессором Петербургского университета.



Задача 14.

Найти скорость упорядоченного движения электронов в проводнике сечением $S = 5 \text{ мм}^2$ при силе тока $I = 10 \text{ А}$, если концентрация электронов проводимости $n = 5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

Решение.

$$I = nevS; \Rightarrow v = \frac{I}{neS} \approx \frac{10}{5 \cdot 10^{28} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-6}} \approx 2,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Задача 15.

Сколько электронов проходит через поперечное сечение проводника за время $\tau = 5 \text{ мс}$ при силе тока $I = 48 \text{ мкА}$?

Решение.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}; \Rightarrow \Delta Q = I\tau = 48 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл};$$

$$N_e = \frac{\Delta Q}{e} \approx \frac{2,4 \cdot 10^{-7}}{1,6 \cdot 10^{-19}} \approx 1,5 \cdot 10^{12};$$

Задача 16.

Как изменится сопротивление не изолированного проводника, если его сложить пополам, а затем плотно скрутить?

Решение.

Поскольку

$$R = \frac{\rho_R \ell}{S},$$

то складывание проводника пополам уменьшает его длину вдвое, а поперечное сечение увеличивает в два раза, в итоге сопротивление проводника уменьшится в 4 раза.

Задача 17.

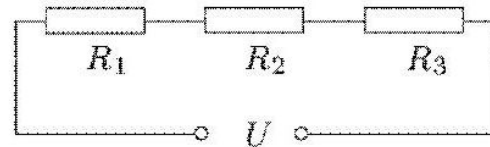
Лампочка с вольфрамовой нитью при $t_0 = 0$ °С обладает сопротивлением $R_0 = 1$ Ом, а при температуре $t_1 = 2000$ °С сопротивление $R_1 = 9,4$ Ом. Определить температурный коэффициент сопротивления вольфрама.

Решение.

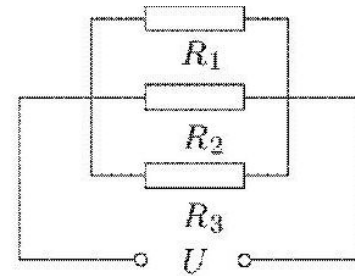
$$R_1 = R_0(1 + \alpha \Delta T); \quad \alpha = \frac{1}{\Delta T} \left(\frac{R_1}{R_0} - 1 \right) = 4,3 \cdot 10^{-4} \left(\frac{9,4}{1} - 1 \right) \approx 0,0037 \text{K}^{-1}$$

Задача 16.

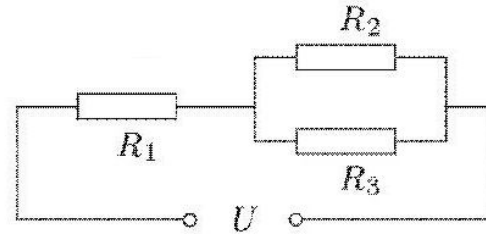
Определить эквивалентное сопротивление цепей при условии $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ Ом}$.



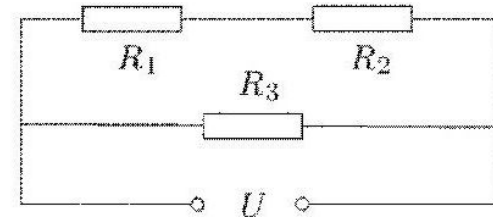
a



б



в



г

Решение.

а) $R_0 = R_1 + R_2 + R_3 = 3 \text{ Ом};$

б) $\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_3 + R_2 + R_1}{R_1 R_2 R_3}; \quad R_0 = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \approx 0,33 \text{ Ом};$

в) $R_0 = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 1 + \frac{1}{2} = 1,5 \text{ Ом};$

г) $R_0 = \frac{(R_1 + R_2) R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{2}{3} \approx 0,67 \text{ Ом};$

Задача 17.

Электродвижущая сила источника $\varepsilon = 6$ В. При внешнем сопротивлении цепи $R = 1$ Ом сила тока равна $I = 3$ А. Определить силу тока короткого замыкания.

Решение.

Внутреннее сопротивление источника:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}; \quad IR + Ir = \varepsilon; \quad r = \frac{\varepsilon - IR}{I};$$

Сила тока короткого замыкания:

$$I_m = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{\varepsilon I}{\varepsilon - IR} = \frac{18}{3} = 6 \text{ А};$$

Задача 18.

Внутреннее сопротивление элемента в 5 раз меньше сопротивления внешней нагрузки элемента с ЭДС $\varepsilon = 10$ В. Определить, во сколько раз напряжение на зажимах элемента отличается от его ЭДС.

Решение.

$$\frac{U}{R} = \frac{\varepsilon}{R + \frac{R}{5}}; \quad \Rightarrow \quad \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R}{\frac{6}{5}R}; \quad \frac{\varepsilon}{U} = 1,2;$$

Задача 19.

ЭДС источника $\varepsilon = 4$ В, $r = 1$ Ом, $R_1 = R_2 = R_3 = 4,5$ Ом. Определить показания идеального вольтметра и идеального амперметра, включённых в цепь.

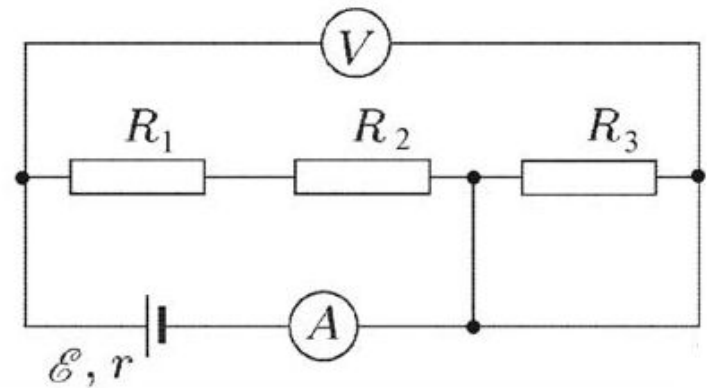
Решение.

Резистор R_3 перемкнут проводником, поэтому источник нагружен только на два последовательно включенных сопротивления R_1 и R_2 . Сила тока в цепи (показания амперметра):

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + r} = 0,4 \text{ А};$$

Показания вольтметра:

$$U = \varepsilon - Ir = 4 - 0,4 = 3,6 \text{ В}$$



Задача 20.

В электрическом чайнике вода закипает через $\tau_1 = 12$ минут после его включения в сеть. Нагревательный элемент чайника намотан проводом длиной $l_1 = 4,5$ м. Как следует изменить нагревательный элемент, чтобы вода в чайнике закипала через время $\tau_2 = 8$ минут?

Решение.

При $U = \text{const}$, мощность нагревателя определяется силой тока, поэтому для увеличения мощности требуется уменьшить сопротивление нагревателя:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{U^2}{R_1} \tau_1 = cm\Delta T; \\ \frac{U^2}{R_2} \tau_2 = cm\Delta T; \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{l_1}{l_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2}; \quad l_2 = \frac{l_1 \tau_2}{\tau_1} = 3 \text{ м};$$

Задача 21.

На металлическую пластину падает электромагнитное излучение, выбивающее электроны из пластинки. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших из пластинки в результате фотоэффекта, составляет $K = 6$ эВ, а энергия падающих фотонов в 3 раза больше работы выхода из металла. Определить величину работы выхода.

Решение.

$$h\nu = \frac{m_e v^2}{2} + A; \quad 3A = K_{\max} + A; \quad \Rightarrow \quad A = \frac{K_{\max}}{2} = 3 \text{ эВ.}$$

Задача 22.

Если полная энергия электрона в атоме увеличилась на $\Delta\varepsilon = 3 \cdot 10^{-19}$ Дж, то фотон с какой длиной волны электрон поглотил?

Решение.

Величина изменения энергии электрона должна быть равна энергии фотона

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda}; \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{hc}{\Delta\varepsilon} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{-19}} \cong 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ м;}$$

Задача 23.

Чему равен угол падения светового луча в воздухе на поверхность воды, если угол между преломлённым и отражённым лучами равен 90° ?

Решение.

Имеем

$$\alpha + \beta + \gamma = \pi,$$

$$\gamma = \pi - \beta - \alpha;$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \alpha;$$

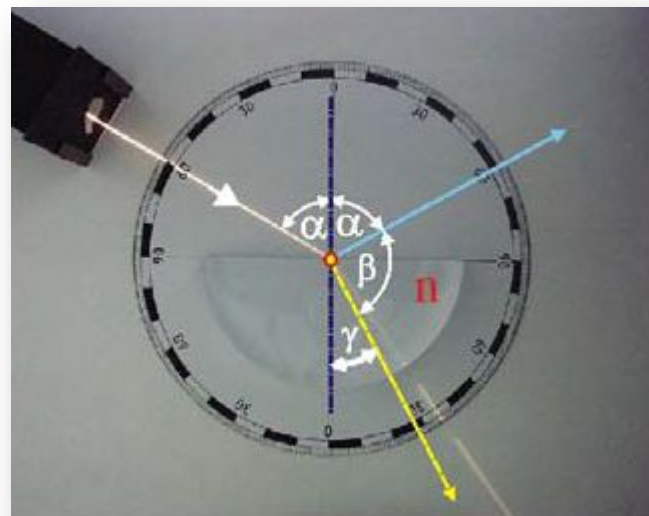
По закону преломления

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n;$$

$$\sin \gamma = \sin \left(\frac{\pi}{2} - \alpha \right) = \cos \alpha;$$

Поэтому

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = n; \quad n = 1,33; \quad \alpha = \operatorname{arctg} 1,33 \cong 53^\circ$$



Спасибо за внимание!



Кроме высшего образования, нужно иметь ещё хотя бы среднее образование и, как минимум – начальное воспитание...

