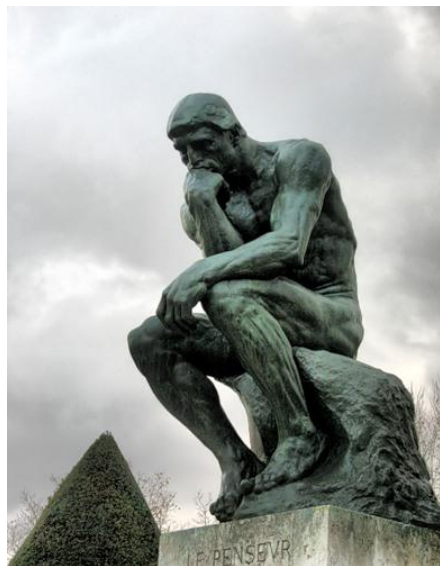


# Примеры решения задач



## 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:

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

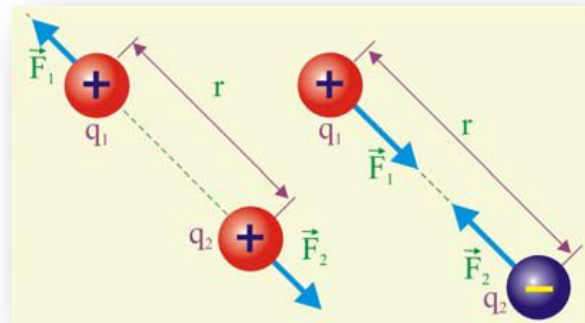
где  $\epsilon_0 \cong 9 \cdot 10^{-12}$  Кл<sup>2</sup>/(Н·м<sup>2</sup>)



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 1с.

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  $\epsilon$  – **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.

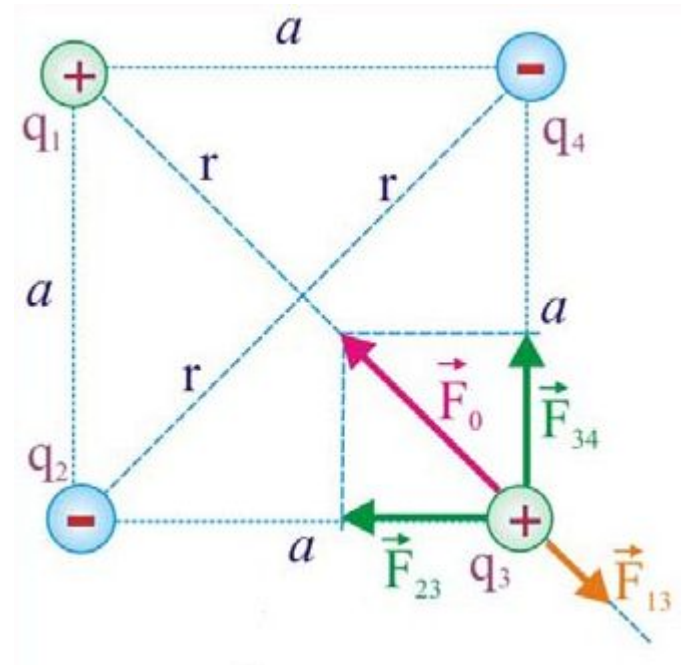
Выделим один из зарядов, например,  $q_3$  и рассмотрим действующую на него систему сил Кулона:

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

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

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

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



## 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  $\varphi$  определим из прямоугольного треугольника  $\Delta OAB$ :

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

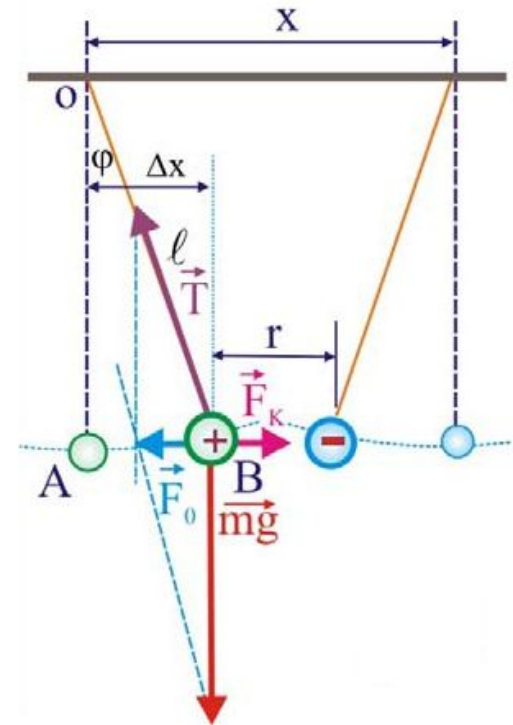
Натяжение нити:

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

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:

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

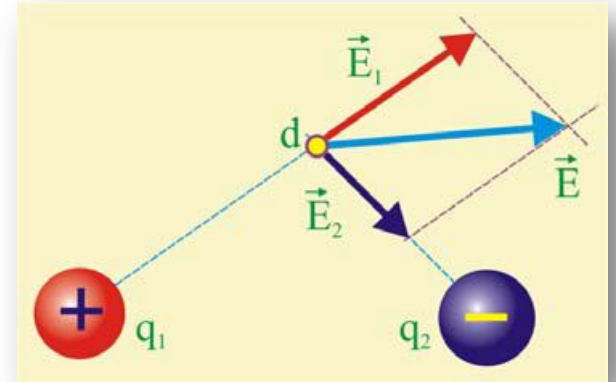
**Майкл Фарадэй** (1791 -1867) — английский физик-экспериментатор, химик . Основоположник учения об электромагнитном поле.



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:

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

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

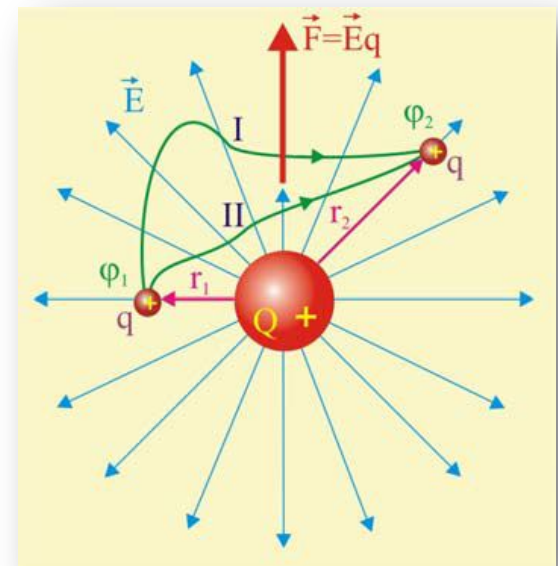


Найдём далее работу, совершаемую силой Кулона на элементарном перемещении заряда:

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

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 ( $\Pi$ ) 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  $\Pi$  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/м<sup>2</sup>. 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.

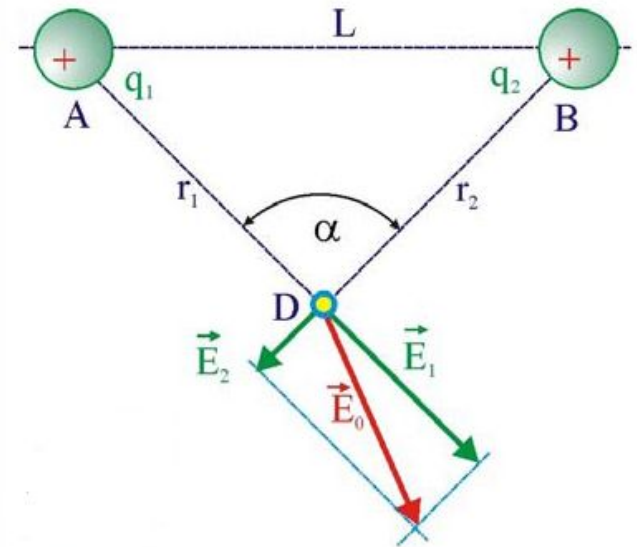
Модули напряжённостей поля, создаваемого зарядами в заданной точке:

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

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

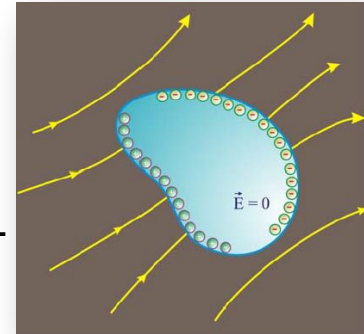
Заданные расстояния указывают, что  $\triangle ADB$  прямоугольный, т.е.  $\alpha = \pi/2$ , следовательно:

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



## 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

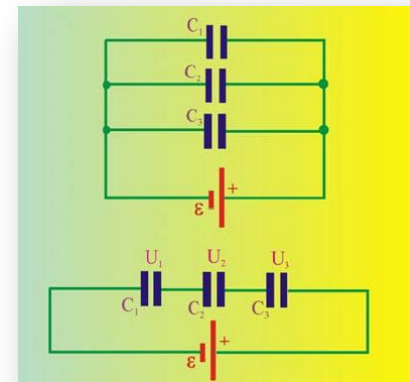
$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

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  $s = 10^{-2}$  м<sup>2</sup>. 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.

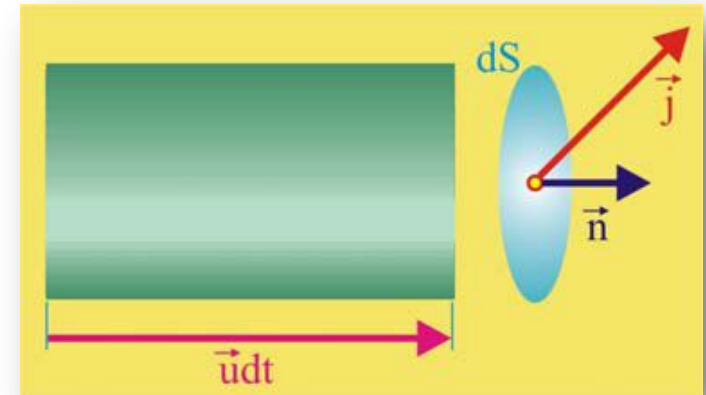
Плоский конденсатор, между обкладками которого находится слюдяная пластинка ( $\varepsilon = 6$ ), присоединен к аккумулятору. Заряд конденсатора  $Q_1 = 14$  мкКл. Какой заряд пройдет через аккумулятор при внезапном удалении пластинки?

**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:

$$\frac{dq}{dS dt} = j = neu$$

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)

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

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

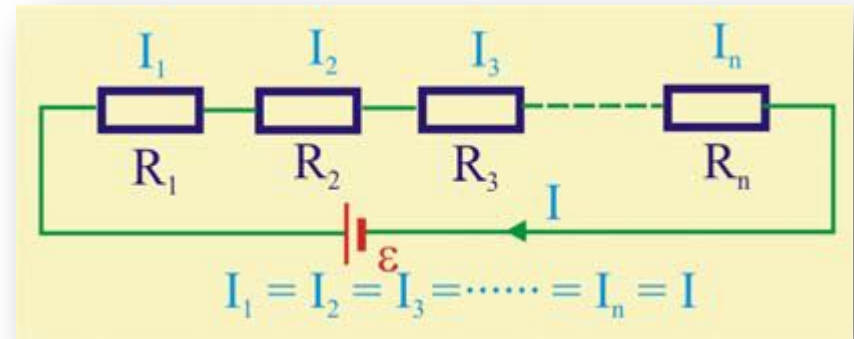
где  $R$  – электрическое сопротивление, измеряемое в Омах,  $G$  – проводимость материала проводника,  $\rho$  – удельное сопротивление, измеряемое в Ом · м,  $S$  – площадь поперечного сечения проводника,  $l$  – его длина.

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  $\varepsilon$  и внутреннее сопротивление источника  $r$ . Закон Ома для участка цепи:

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

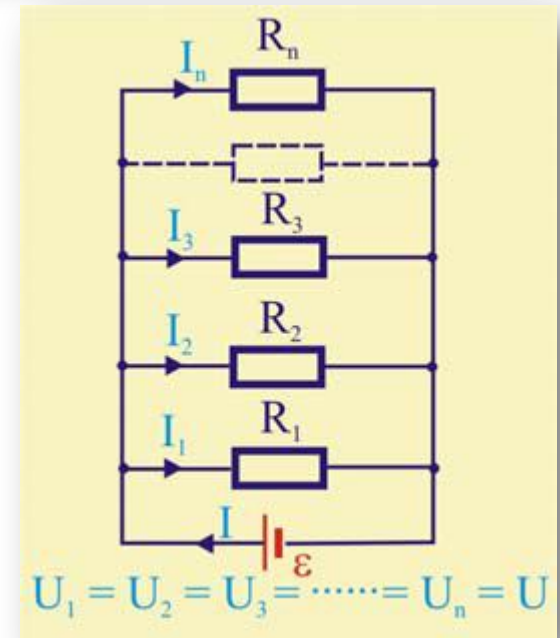


Последовательное соединение сопротивлений:

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

Параллельное соединение сопротивлений

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



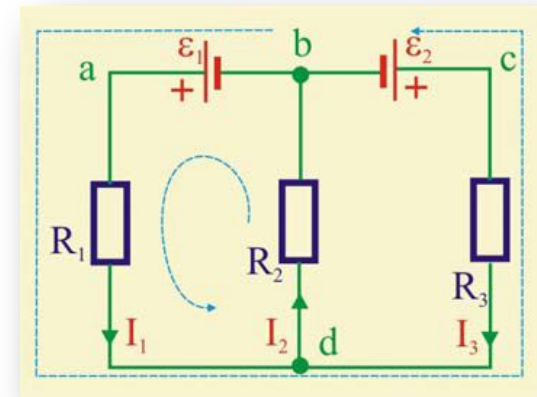
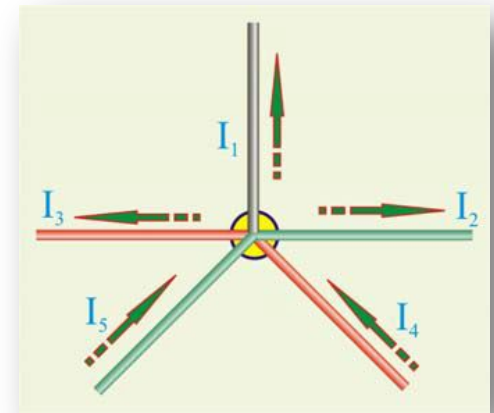
## Правила Кирхгофа

*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:

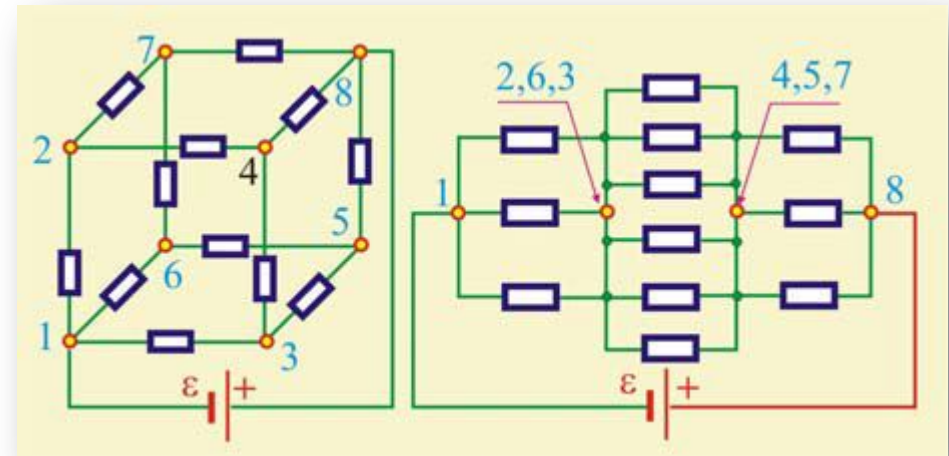
$$\sum_{i=1}^{i=n} I_i R_i = \sum_{i=1}^{i=n} \varepsilon_i$$



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.



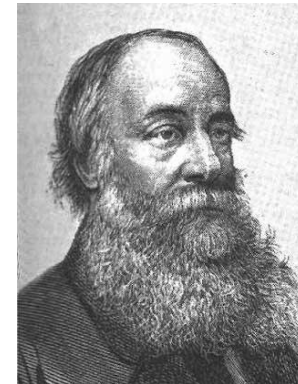
## Закон Джоуля – Ленца

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  $\Delta t$

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

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.

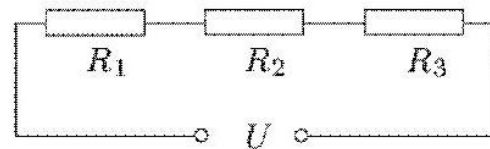
Лампочка с вольфрамовой нитью при  $t_0 = 0$  °С обладает сопротивлением  $R_0 = 1$  Ом, а при температуре  $t_1 = 2000$  °С сопротивление  $R_1 = 9,4$  Ом. Определить температурный коэффициент сопротивления вольфрама.

**Решение.**

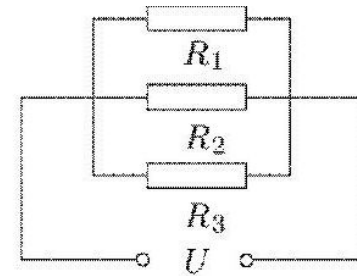
$$R_1 = R_0(1 + \alpha \Delta T); \quad \alpha = \frac{1}{\Delta T} \left( \frac{R_1}{R_0} - 1 \right) = 4,3 \cdot 10^{-4} \left( \frac{9,4}{1} - 1 \right) \approx 0,0037 \text{K}^{-1}$$

### Задача 16.

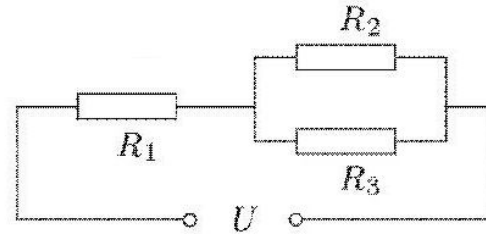
Определить эквивалентное сопротивление цепей при условии  $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ Ом}$ .



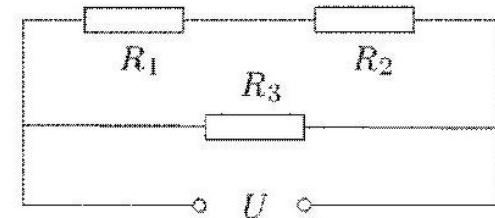
a



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.

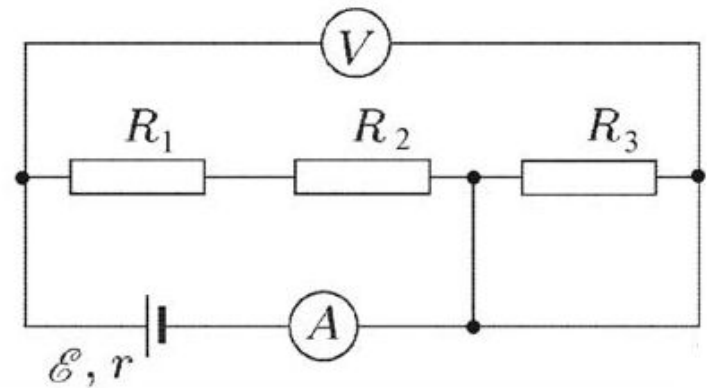
### Решение.

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  $90^\circ$ ?

**Решение.**

Имеем

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

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

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

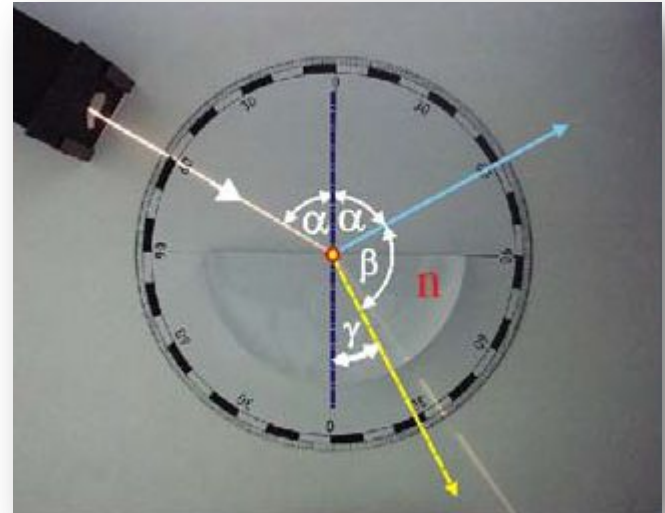
По закону преломления

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

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

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...

