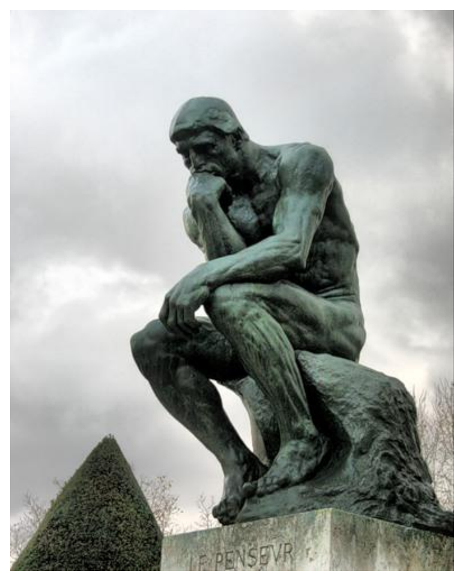
Примеры решения задач



Закон Кулона

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

Основной закон электростатического взаимодействия неподвижных то

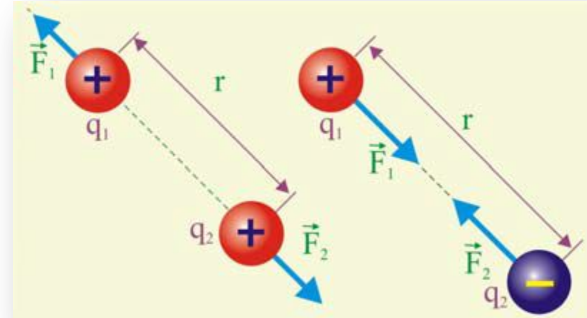
чечных (размеры заряженных тел на много меньше расстояния между ними) был сформулирован в 1785 г. французским физиком **Шарлем Огюстом Кулоном (1736 – 1806).**

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

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q_1||q_2|}{r^2}\frac{\vec{r}}{r},$$

где $\varepsilon_0 \cong 9 \cdot 10^{-12}$ Кл^2/(Н$\cdot$м^2)

При решении задач закон Кулона удобнее представлять в скалярной форме



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

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cong 9\cdot 10^9\ \text{Н}\cdot\text{м}^2/\text{Кл}^2.$$

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 q1 =q2 = 1Кл, помещённые на расстояние r = 1 м, взаимодействуют в соответствии с (1.3) с силой $F \cong 9\cdot 10^9$Н (вес 900 тыс. тонн груза).

На практике используют чаще всего микрокулоны (1мкКл = 10^{-6} Кл) и нанокулоны (1нКл = 10^{-9} 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:

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

Задача 1.

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

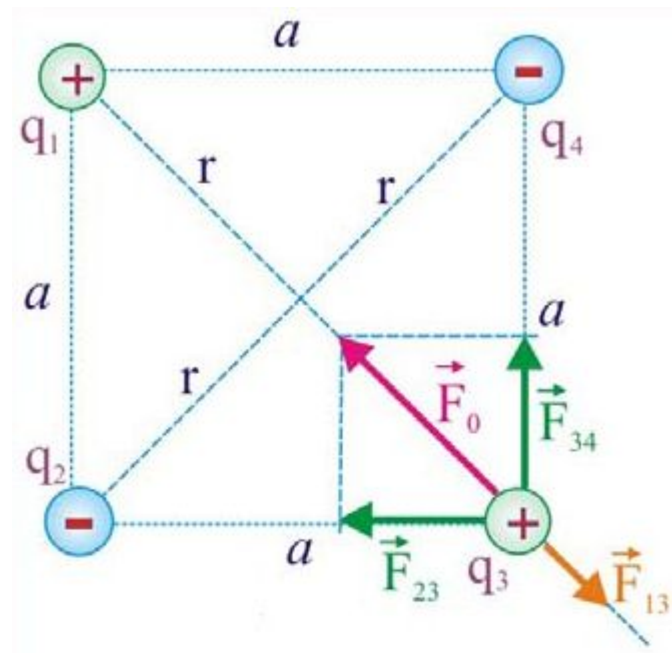
Решение.

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

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

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

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

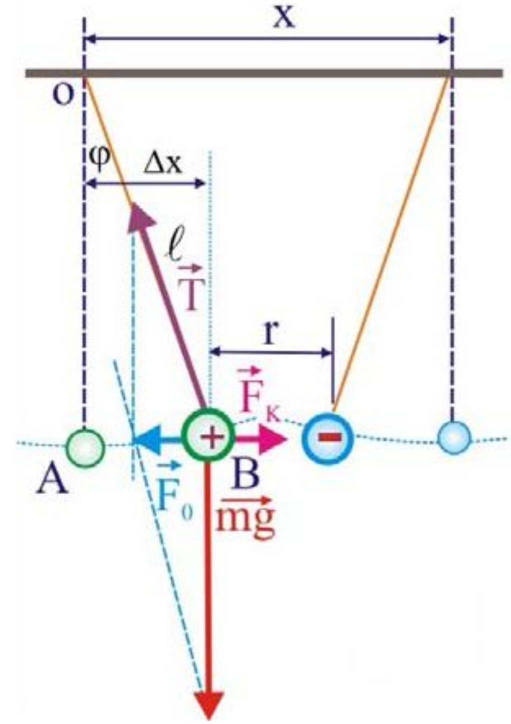


$$\left|\vec{F}_0\right| > \left|\vec{F}_{13}\right| \quad \Rightarrow$$

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:

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

Натяжение нити:

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

Отсюда

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

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:

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

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

2. Разноименно заряженные шарики:

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

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

Электрическое поле

Электрическим полем называется часть пространства, в котором прояв ляются 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.

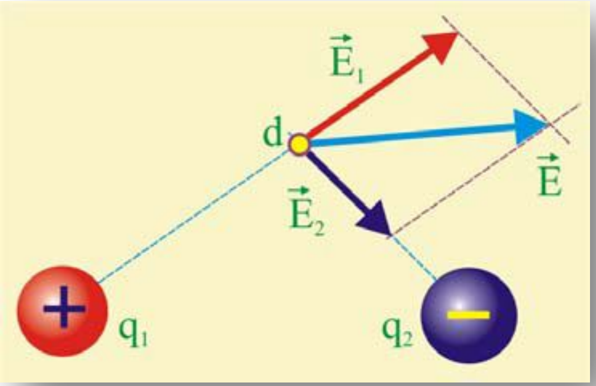
Для характеристики электрических полей оказалось более полезным рас сматривать не силу Кулона в каждой точке поля, а отношение силы Кулона к пробному заряду.

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

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{r^3}\vec{r}\ .$$

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

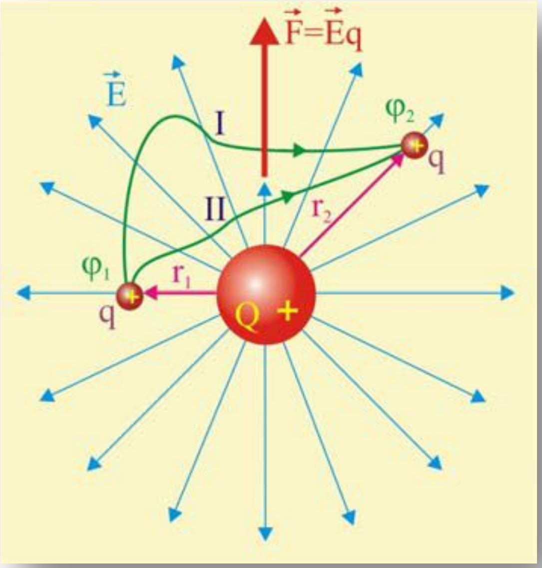
Пусть электрическое поле создаётся двумя точечными зарядами q_1 и q_2 с напряженностями $\mathbf{E}_1$ и $\mathbf{E}_2$.Результирующее поле может быть найдено по правилам сложения векторов, т.е. путём геометрического сложения:



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

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

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



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

В поле точечного зарядаработа на конечном перемещении определится в виде интеграла:

$$A_{1\to 2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_1}^{r_2}\frac{qQ\vec{r}}{r^3}d\vec{r} = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0}\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r^2}$$

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:

$$A_{1\to 2} = \frac{qQ}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

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 (П) заряда.

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

Полученные выше уравнения работы показывают, что так же как и напряжённость, работа пропорциональна величине заряда. В этой связи целесообразно рассмотреть отношение потенциальной энергии поля П 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:

$$A_{1\to 2} = q(\varphi_1 - \varphi_2)_1 = \Pi_1/q, \quad \varphi_2 = \Pi_2/q.$$

Задача 4.
Проводящий шар радиусом R = 0,3 м имеет поверхностную плотность заряда $\sigma = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл/м^2. Найти напряжённость поля в точке, находящейся на расстоянии r = 0,7 м от поверхности шара, находящемся в жидкости с диэлектрической проницаемостью ε = 2.

Решение.

$$E = \frac{k}{\varepsilon}\frac{q}{r^2} = \frac{k4\pi R^2\sigma}{\varepsilon r^2} \approx \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}09 \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{2 \cdot 0{,}49} \approx 207{,}8\,\frac{\text{В}}{\text{м}}$$

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.

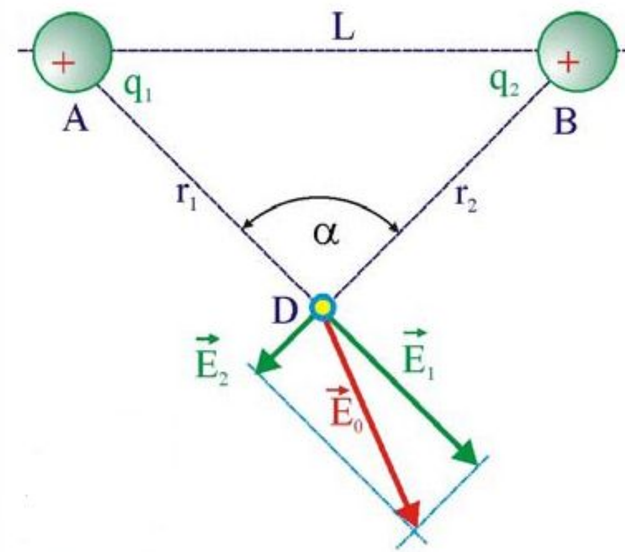
$$E = \frac{k}{\varepsilon}\frac{q}{r^2}; \quad \Rightarrow \quad E\varepsilon r^2 = kq; \quad \varepsilon = \frac{kq}{Er^2} \approx \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4{,}5 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 10^4 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}} \approx 81\,(\text{вода})$$

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:



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

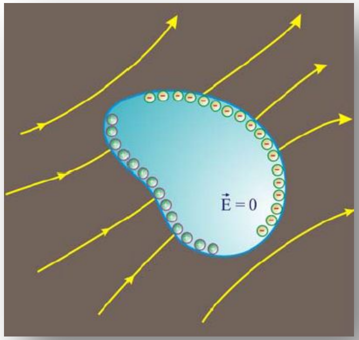
$$\left|\vec{E}_2\right| = k\frac{q_2}{r_1^2} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{1{,}6 \cdot 10^{-6}}{1{,}6 \cdot 10^{-3}} \approx 9 \cdot 10^6 \frac{В}{м};$$

Заданные расстояния указывают, что ΔADB прямоугольный, т.е. α = π/2, следовательно:

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

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 С 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.

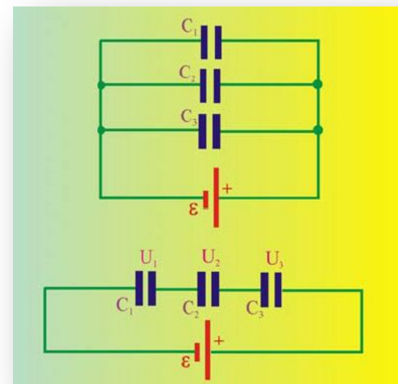
Электрическая ёмкость измеряется в **фарадах** [Ф], 1фарада – ёмкость такого проводника, при которой увеличение заряда проводника на 1 кулон увеличивает потенциал на 1 вольт. Такой ёмкостью обладает сфера радиусом $9 \cdot 10^9$ м (радиус Земли равен ≅ $6{,}4 \cdot 10^6$ м).

При решении практических задач используются следующие единицы электроёмкости:

- 1 микрофарада (мкФ): 1мкФ = $1 \cdot 10^{-6}$ Ф;
- 1 нанофарада (нФ): 1нФ = $1 \cdot 10^{-9}$ Ф;
- 1 пикофарада (пФ): 1 пФ = $1 \cdot 10^{-12}$ 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 электроёмкость батареи равна сумме электроёмкостей:

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

При последовательном соединении конденсаторов электроёмкость 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 φ = 500 В. Определить заряд шара и потенциал точки, находящейся на расстоянии r = 41 см от поверхности шара.

Решение.

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

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

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:

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

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 · 10 $^{-10}$ Кл?

Решение.

$$\varphi = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R} = k\frac{Q}{R} \cong \frac{9\cdot10^9\cdot2\cdot10^{-10}}{0{,}1} \cong 18\ \text{В}$$

Задача 11.

Ёмкость двух металлических шаров C1 = 10 пФ и C2 = 20 пФ, они несут заряды Q1 = 17 нКл и Q2 = 30 нКл. Будут ли перемещаться электроны при соединении шаров проводником?

Решение.

Потенциалы шаров:

$$\varphi_1 = \frac{Q_1}{C_1} \cong \frac{17\cdot10^{-9}}{10^{-11}} \cong 1700\ \text{В};\quad \varphi_2 = \frac{Q_2}{C_2} \cong \frac{30\cdot10^{-9}}{2\cdot10^{-11}} \cong 1500\ \text{В};$$

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 (ε = 7), площадь обкладок s = 10 $^{-2}$м2. Определить величину заряда на пластинах.

Решение.

Ёмкость конденсатора:

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

Заряд на пластинах:

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

Задача 13.

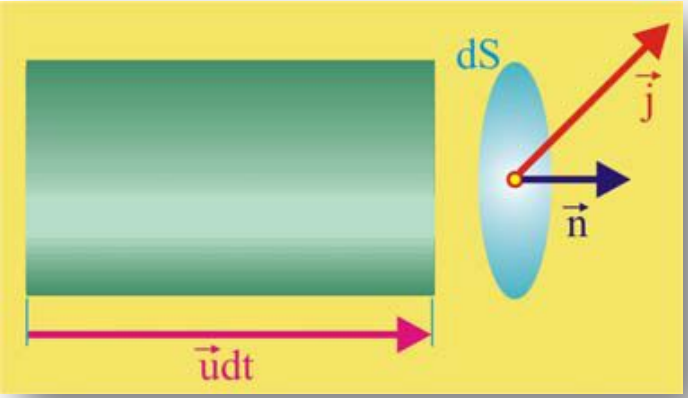
Плоский конденсатор, между обкладками которого находится слюдяная пластинка (ε = 6), присоединен к аккумулятору. Заряд конденсатора Q1 =14 мкКл. Какой заряд пройдёт через аккумулятор при внезапном удалении пластинки?

Решение.

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

Постоянный электрический ток

Выделим в проводнике физически малый объём, внутри которого направленно движутся со средней ско ростью носители заряда. Эта скорость называтся 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 udt. 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)

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

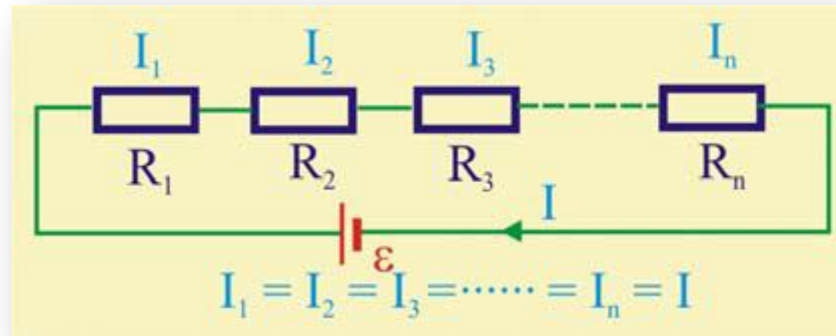
$$R = \frac{\rho \ell}{S},$$

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:

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

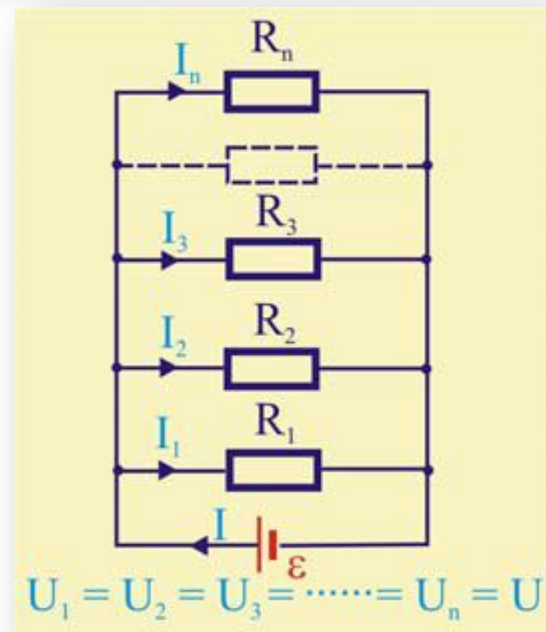


Последовательное соединение сопротивлений:

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

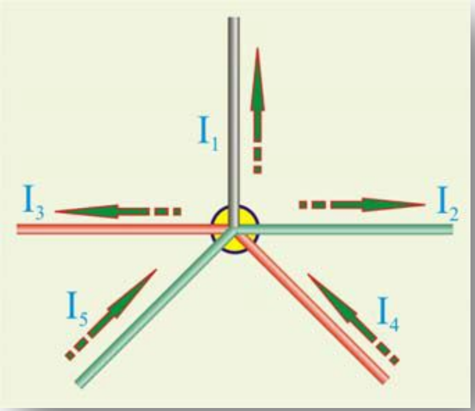
Параллельное соединение сопротивлений

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



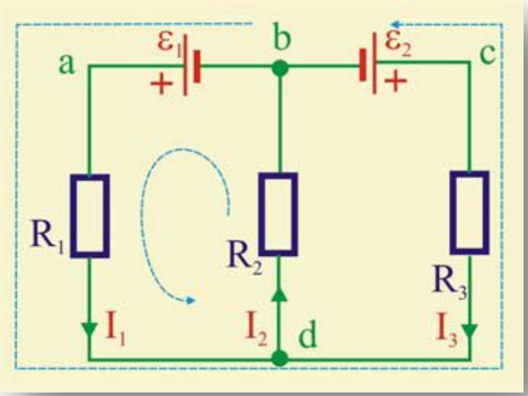
Правила Кирхгофа

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:

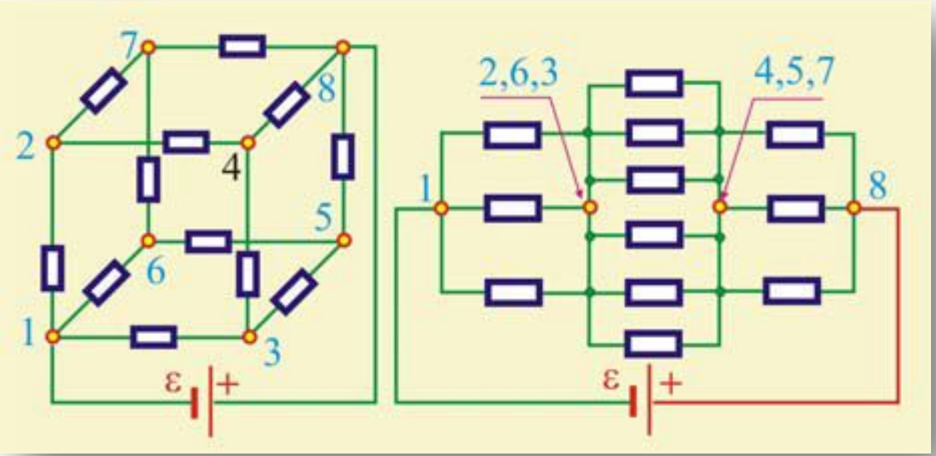


$$\sum_{i=1}^{i=n} I_i R_i = \sum_{i=1}^{i=n} \varepsilon_i$$

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 жекак и точек 4,5,7 будут одинаковы, их можно соединять, так
как это не изменит в плане распределения токов, но схема существенно упростится.

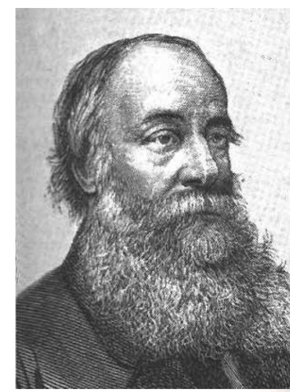


Закон Джоуля − Ленца

В неподвижном проводнике движущиеся носители заряда, в соответствие 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 1841г. Дж. Джоулем и в 1842 г. независимо, Эмилем Христофоровичем Ленцем, профессором Петербургского университета.

Задача 14.
Найти скорость упорядоченного движения электронов в проводнике сечением $S = 5$ мм^2 при силе тока $I = 10$ А, если концентрация электронов проводимости $n = 5 \cdot 10^{28}$ м$^{-3}$.
Решение.

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

Задача 15.
Сколько электронов проходит через поперечное сечение проводника за время $\tau = 5$ мс при силе тока $I = 48$ мкА?
Решение.

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

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

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.

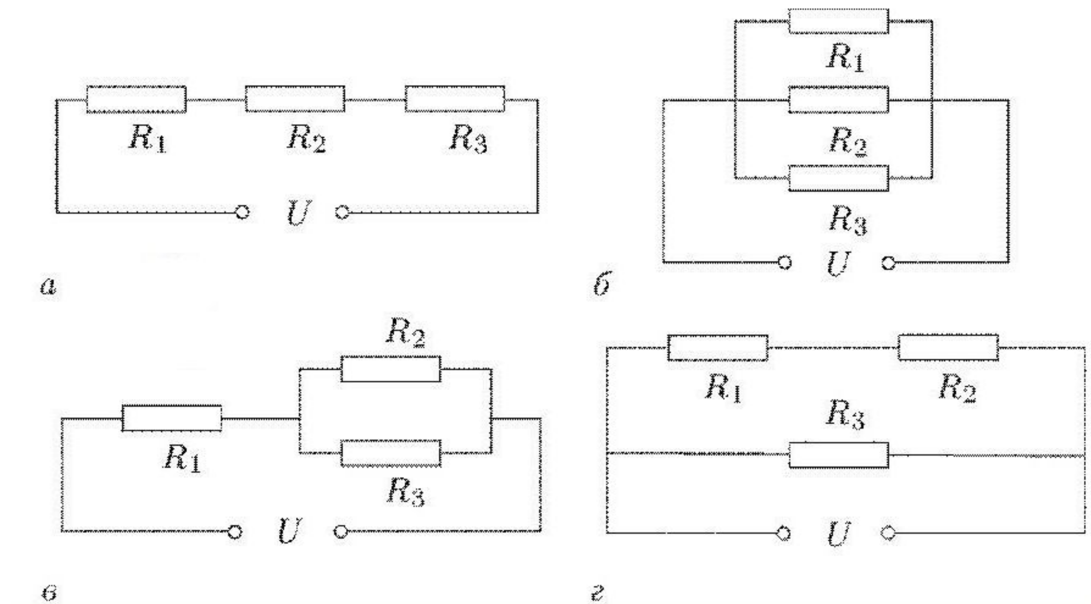
Лампочка с вольфрамовой нитью при $t_0 = 0\ ^0C$ обладает сопротивлением R0 = 1 Ом, а при температуре $t_1 = 2000\ ^0C$ сопротивление R1 = 9,4 Ом. Определить температурный коэффициент сопротивления вольфрама.

Решение.

$$R_1 = R_0(1+\alpha\Delta T); \quad \alpha = \frac{1}{\Delta T}\left(\frac{R_1}{R_0}-1\right) = 4{,}3\cdot10^{-4}\left(\frac{9{,}4}{1}-1\right) \approx 0{,}0037K^{-1}$$

Задача 16.

Определить эквивалентное сопротивление цепей при условии R1 = R2 = R3 = 1 Ом.



Решение.

а) $R_0 = R_1 + R_2 + R_3 = 3$ Ом;

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

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

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

Задача 17.

Электродвижущая сила источника ε = 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:

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

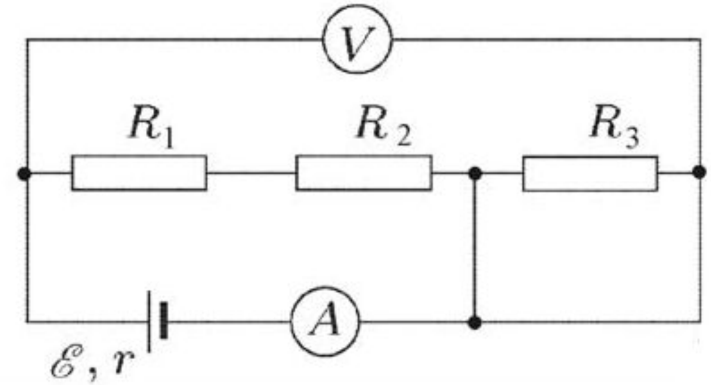
Задача 18.

Внутреннее сопротивление элемента в 5 раз меньше сопротивления внешней нагрузки элемента с ЭДС ε = 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 ε = 4 В, r = 1 Ом, R1 = R2 = R3 = 4,5 Ом. Определить показания идеального вольтметра и идеального амперметра, включённых в цепь.



Решение.

Резистор R3 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 т1 = 12 минут после его включения в сеть. Нагревательный элемент чайника намотан проводом длиной l1 = 4,5 м. Как следует изменить нагревательный элемент, чтобы вода в чайнике закипала через время т2 = 8 минут?
Решение.
При U = cost, мощность нагревателя определяется силой тока, поэтому для увеличения мощности требуется уменьшить сопротивление нагревателя:

$$\left.\begin{aligned} \frac{U^2}{R_1}\tau_1 = cm\Delta T; \\ \frac{U^2}{R_2}\tau_2 = cm\Delta T; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{\ell_1}{\ell_2} = \frac{\tau_1}{\tau_2}; \quad \ell_2 = \frac{\ell_1\tau_2}{\tau_1} = 3\text{м};$$

Задача 21.

На металлическую пластину падает электромагнитное излучение, выбивающее электроны из пластинки. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших из пластинки в результате фотоэффекта, составляет К =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.

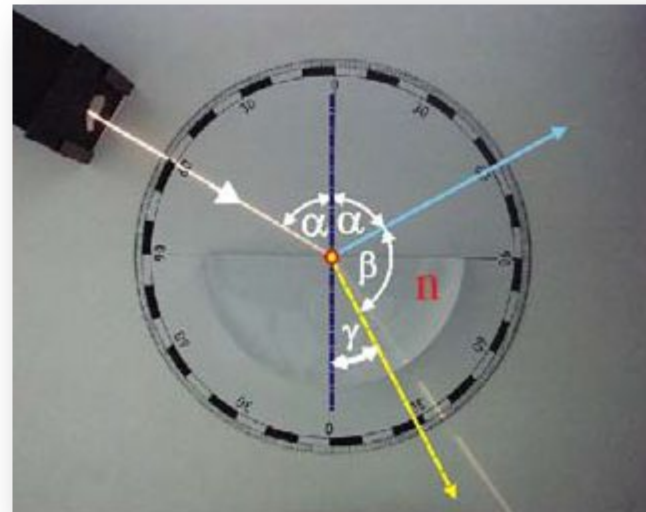
Если полная энергия электрона в атоме увеличилась на $\Delta\varepsilon = 3 \cdot 10^{-19}$ Дж, то фотон с какой длиной волны электрон поглотил?

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

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

Спасибо за внимание!