

# Электричество

Разность потенциалов, потенциал

Парфентьева Наталия Андреевна

# Потенциал

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{1-2}}{q_0}$$

Потенциалом в данной точке поля называется отношение работы электростатической силы по перемещению положительного заряда из данной точки на бесконечность к величине этого заряда.

$$\varphi = \frac{A_{1 \rightarrow \infty}}{q_0}$$

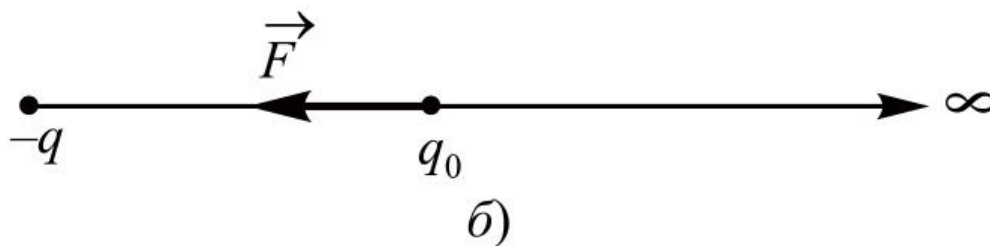
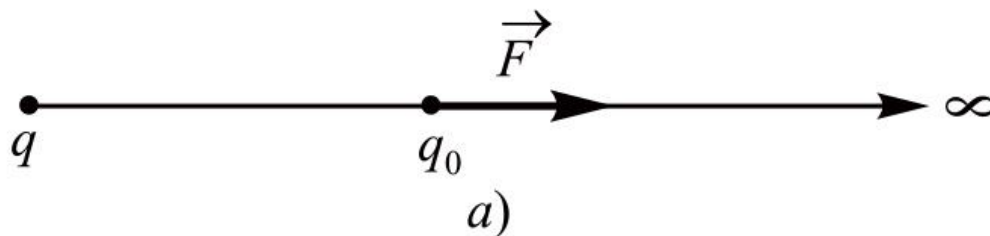
$$A_{1 \rightarrow \infty} = -\Delta W_{nom}$$

$$q_0(\varphi_1 - \varphi_\infty) = - (W_{nom \infty} - W_{nom1})$$

$$q_0\varphi_1 = W_{nom}, \quad W_{nom\infty} \rightarrow 0$$

Потенциал в данной точке поля равен потенциальной энергии, которой обладает единичный положительный заряд, помещенный в эту точку поля:

$$\varphi = \frac{W_{\text{ПОТ}}}{q_0} \qquad 1\text{В} = \frac{1\text{Дж}}{1\text{Кл}}$$



$$W_{\text{ПОТ}} + W_{\text{КИН}} = \text{const}$$

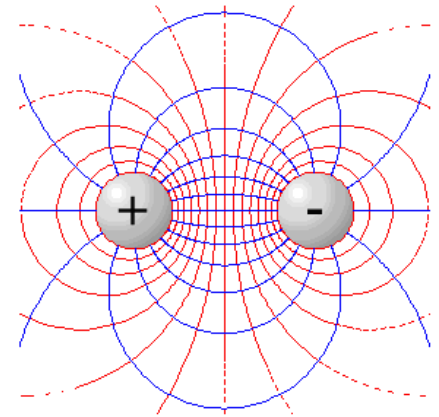
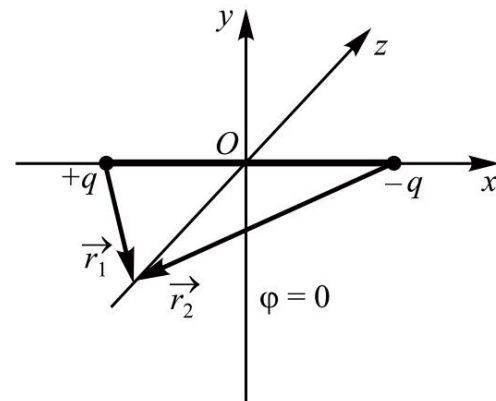
# Принцип суперпозиции для потенциала

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \dots \right)$$

## Потенциал поля диполя

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$



**Задача 1.** Одинаковые одноименные точечные заряды  $4 \cdot 10^{-7}$  Кл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a = 1$  м. Определите значение напряженности и потенциала в третьей вершине  $A$  треугольника.

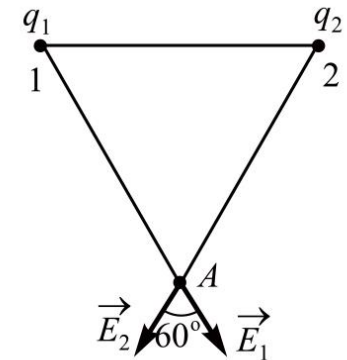
$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$\varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2, \quad \varphi_1 = \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a}$$

$$E_1 = E_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$$

$$E_A = E_1 \cos 30^\circ + E_2 \cos 30^\circ = 2E_1 \cos 30^\circ = \sqrt{3} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2} = 6,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

$$\varphi = 2 \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a} = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 a} = 7200 \text{В}$$



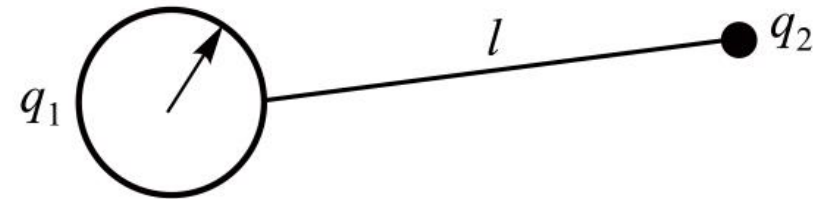
**Задача 2.** На расстоянии  $l = 40$  см от поверхности заряженного металлического шарика радиусом  $r = 10$  см помещен точечный заряд  $q_2 = 8 \cdot 10^{-9}$  Кл. Заряд шарика  $q_1 = 4 \cdot 10^{-9}$  Кл. Определите потенциал шарика.

**Решение.**

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$$

$$\varphi_3 = 0 \quad \varphi_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \varphi_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 (r+l)}$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{q_2}{r} + \frac{q_1}{(r+l)} \right) \approx 500 \text{ В}$$



**Задача 3.** Протон с начальной скоростью  $v_0$  летит прямо на первоначально покоящееся ядро гелия. Каковы скорости частиц в тот момент, когда расстояние между ними минимально? Считать, что масса ядра гелия равна учетверенной массе протона.

**Решение.**

$$m_p v_0 = (m_p + m_{\text{я}})u,$$

$$\frac{m_p v_0^2}{2} = \frac{(m_p + m_{\text{я}})u^2}{2} + \frac{q_p q_{\text{я}}}{r_{\text{min}}}$$

$$u = \frac{m_p v_0}{m_p + m_{\text{я}}} = \frac{v_0}{5}$$

$$\frac{m_p v_0^2}{2} = \frac{5m_p v_0^2}{2 \cdot 25} + k \frac{2q_p^2}{r_{\text{min}}} \quad r_{\text{min}} = \frac{5kq_p^2}{m_p v_0^2}$$

$$[r_{\text{min}}] = \left[ \frac{\text{Н} \cdot \text{М}^2 \cdot \text{Кл}^2 \text{с}^2}{\text{Кл}^2 \cdot \text{КГ} \cdot \text{М}^2} \right] = \left[ \frac{\text{КГ} \cdot \text{М}^3 \cdot \text{С}^2}{\text{С}^2 \cdot \text{КГ} \cdot \text{М}^2} \right] = [\text{М}]$$

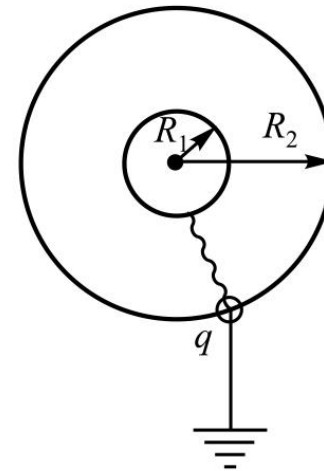
**Задача 4.** Проводящую сферу радиусом 20 см окружили тонкой сферической оболочкой радиусом 40 см и с зарядом  $2 \cdot 10^{-6}$  Кл. Определите заряд сферы после того, как ее заземлили, а также потенциал оболочки.

**Решение.**

$$\varphi_x = k \frac{q_x}{R_1} + k \frac{q}{R_2} = 0$$

$$q_x = -q \left( R_1 / R_2 \right) = -10^{-6} \text{ Кл}$$

$$\varphi_{об} = k \frac{q}{R_2} + k \frac{q_x}{R_2} = \frac{kq}{R_2} \left( 1 - \frac{R_1}{R_2} \right) = 2,25 \cdot 10^4 \text{ В}$$





# Електроємкость.

## Енергія електричного поля

### Електроємкость уединеного проводника

$$\Delta q = C \Delta \varphi$$

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta \varphi}$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon r} \rightarrow C = 4\pi\epsilon_0\epsilon r$$

$$[C] = 1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}} = \frac{\text{А}^2 \cdot \text{с}^4}{\text{кг} \cdot \text{м}^2}$$

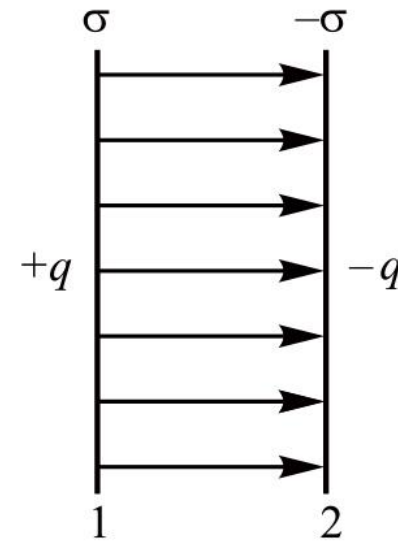
## Электроемкость конденсатора

$$\frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = C$$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$$

$$\Delta\varphi = Ed = \frac{\sigma d}{\varepsilon_0\varepsilon} = \frac{qd}{\varepsilon_0\varepsilon S}$$

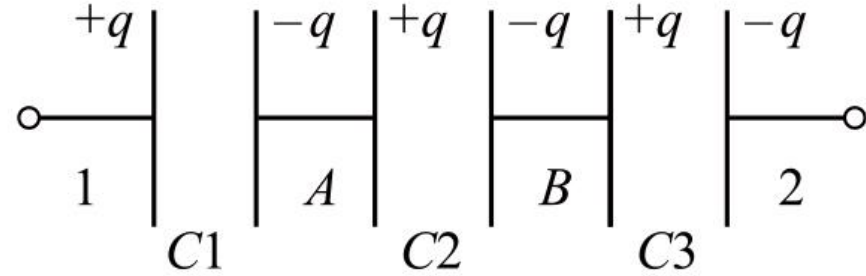
$$C = \frac{\varepsilon_0\varepsilon S}{d}$$



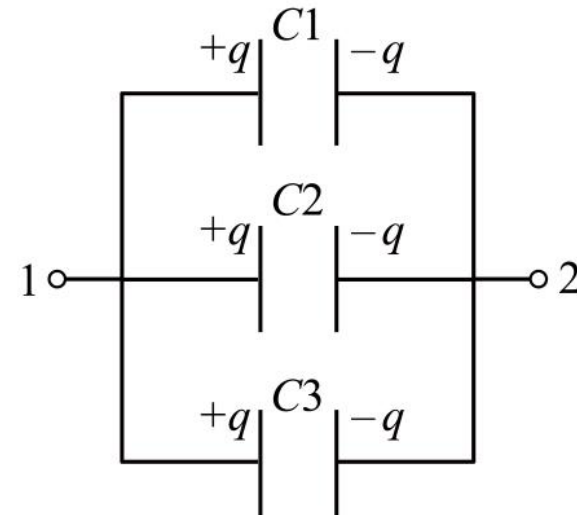
## Последовательное и параллельное соединение конденсаторов

$$\frac{1}{C_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{\text{ЭКВ}}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$



$$C_{\text{ЭКВ}} = \sum_i C_i$$



$$W_{\text{э2}} - W_{\text{э1}} = \frac{q^2}{2C_2} - \frac{q^2}{2C_1}$$

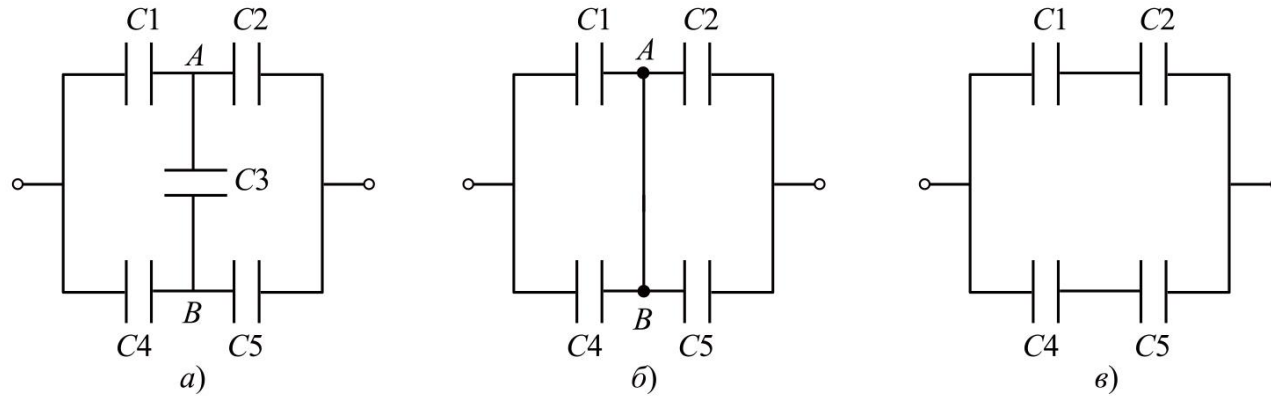
$$W_{\text{э}} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

$$U = Ed \quad C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

$$W_{\text{э}} = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S E^2 d^2}{2d} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} Sd = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2} V$$

$$w = \frac{W_{\text{э}}}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon E^2}{2}$$

**Задача 5.** Определите эквивалентную электрическую емкость в цепи, изображенной на рисунке. Емкости всех конденсаторов одинаковы и равны  $C$ .



$$\frac{1}{C_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{2C_1} + \frac{1}{2C_2}$$

$$C'_{\text{ЭКВ}} = \frac{C_1 C_2}{C_2 + C_2} = \frac{C}{2}$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = \frac{2C_1 C_2}{C_2 + C_2} = C$$

$$C_{\text{ЭКВ}} = 2C'_{\text{ЭКВ}} = \frac{2C_1 C_2}{C_2 + C_2}$$

**Задача 6.** Энергия плоского воздушного конденсатора  $W_1 = 2 \cdot 10^{-7}$  Дж. Определите энергию конденсатора после заполнения его диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 2$ , если:

- 1) конденсатор отключен от источника питания;
- 2) конденсатор подключен к источнику питания.

**Решение.**

$$1) W_2 = \frac{q_0^2}{2C_2}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} = \varepsilon C_1 \quad C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

$$W_2 = \frac{q_0^2}{2\varepsilon C_1} = \frac{W}{\varepsilon} = 10^{-7} \text{ Дж}$$

$$2) W_2 = \frac{C_2 U_0^2}{2} \quad C_2 = \varepsilon C_1$$

$$W_2 = \frac{\varepsilon C_1 U_0^2}{2} = \varepsilon W_1 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$$

**Задача 7.** В плоский воздушный конденсатор вставляется металлическая пластина толщиной  $d_0$ . Заряд на обкладках конденсатора  $q$ . Конденсатор отключен от источника. Расстояние между пластинами  $d$ , площадь пластин  $S$ . Определите изменение емкости конденсатора и энергии его электрического поля, если конденсатор не подключен к источнику.

**Решение.**

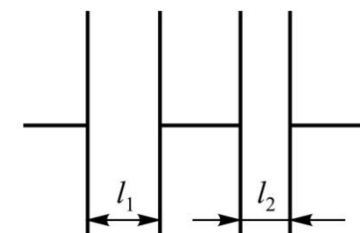
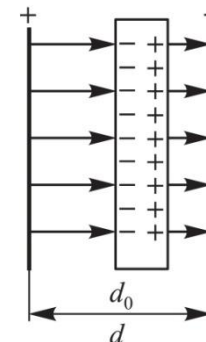
$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{l_1}, C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{l_2}$$

$$\frac{1}{C_{\text{ЭКВ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{l_1}{\varepsilon_0 S} + \frac{l_2}{\varepsilon_0 S} = \frac{l_1 + l_2}{\varepsilon_0 S}$$

$$l_1 + l_2 = d - d_0, C_{\text{ЭКВ}} = \frac{\varepsilon_0 S}{d - d_0}$$

$$\Delta C = C_{\text{ЭКВ}} - C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{d - d_0} - \frac{\varepsilon_0 S}{d} = \frac{\varepsilon_0 S d_0}{(d - d_0) d} > 0$$

$$\Delta W = \frac{q^2}{2C_{\text{ЭКВ}}} - \frac{q^2}{2C_0} = \frac{q^2}{2} \left( \frac{d - d_0}{\varepsilon_0 S} - \frac{d}{\varepsilon_0 S} \right) = \frac{-q^2 d_0}{2\varepsilon_0 S} < 0$$



**Задача 8.** Пластины плоского конденсатора подключены источнику  $U = 2$  В. Определите изменение емкости и энергии электрического поля конденсатора, если конденсатор наполовину заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon = 2$ . Расстояние между пластинами  $d = 1$  см, площадь пластин  $S = 50$  см<sup>2</sup>.

**Решение.**

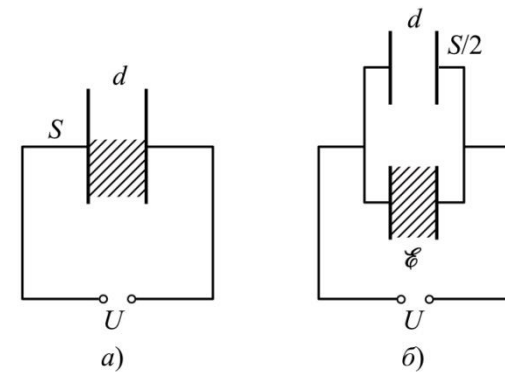
$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S'}{d} = \frac{\varepsilon_0 S}{2d} \quad C_2 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{2d}$$

$$C = C_1 + C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{2d} (\varepsilon + 1)$$

$$\Delta C = C - C_0 = \frac{\varepsilon_0 S}{2d} (\varepsilon + 1) - \frac{\varepsilon_0 S}{d} = \frac{\varepsilon_0 S}{2d} (\varepsilon - 1) = 2,21 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$$

$$\Delta W = \frac{CU^2}{2} - \frac{C_0 U^2}{2} = \frac{\Delta C U^2}{2}$$

$$\Delta W = \frac{\varepsilon_0 S}{2d} \frac{(\varepsilon - 1)^2 U^2}{2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$$





# Постоянный электрический ток. Законы Ома

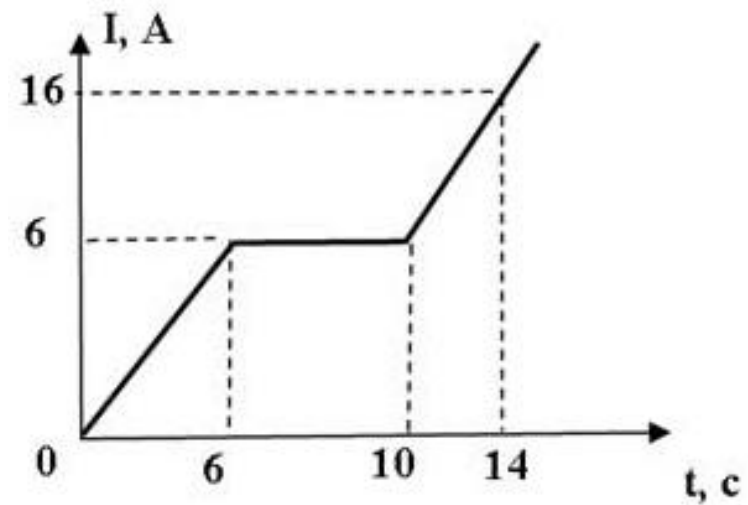
## Сила тока

Сила тока  $I$  определяется зарядом, прошедшим через поперечное сечение проводника за 1 с.

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = It$$

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = q'$$

$$q = \sum_{i=1}^N I_i \Delta t_i$$



**Задача 9.** На рисунке сопротивления всех резисторов равны  $R$ .

Определите эквивалентное сопротивление.

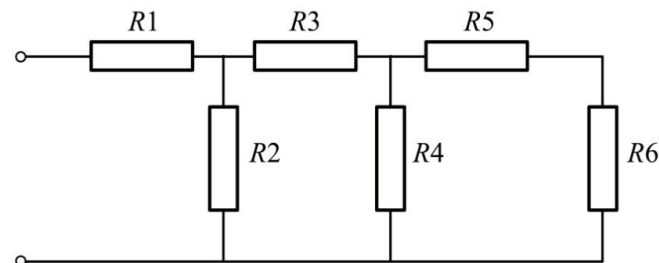
**Дано:**  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R$ ;  $R_{\text{ЭКВ}} = ?$

$$R_{5,6} = R_5 + R_6 = 2R$$

$$R_{3-6} = R_3 + R_{4,5,6} = R + \frac{2}{3}R = \frac{5}{3}R$$

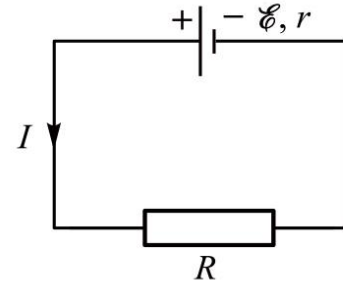
$$R_{2-6} = \frac{R_{3-6} \cdot R_2}{R_{3-6} + R_2} = \frac{\frac{5}{3}R \cdot R}{\frac{5}{3}R + R} = \frac{5}{8}R$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = R_1 + R_{2-6} = R + \frac{5}{8}R = \frac{13}{8}R$$



**Закон Ома для полной цепи:** сила тока, идущего по цепи, прямо пропорциональна ЭДС и обратно пропорциональна полному сопротивлению:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$



**Задача 10.** Определите заряд конденсатора емкостью  $C = 4 \text{ мкФ}$ , если сопротивления резисторов  $R_1 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 30 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 40 \text{ Ом}$ . ЭДС источника  $10 \text{ В}$ , внутренним сопротивлением источника можно пренебречь.

**Решение.**  $q = C(\varphi_A - \varphi_B)$ ;  $\varphi_D - \varphi_A = I_1 R_1$ ;  $\varphi_D - \varphi_B = I_2 R_3$

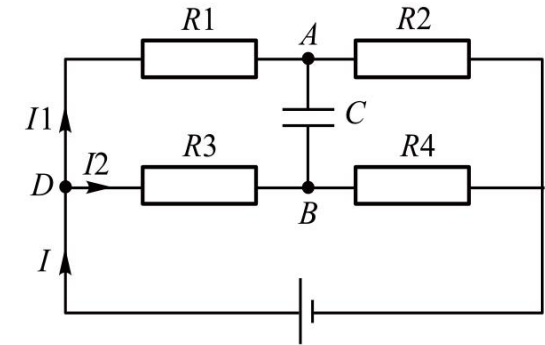
$$(\varphi_A - \varphi_B) = I_2 R_3 - I_1 R_1$$

$$R_{\text{ЭКВ}} = \frac{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} \quad I = \frac{\mathcal{E}(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

$$I_1(R_1 + R_2) = I_2(R_3 + R_4); \quad R_1 + R_2 = R_3 + R_4$$

$$I_1 = I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2} \quad \varphi_A - \varphi_B = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2}(R_3 - R_1)$$

$$q = C(\varphi_A - \varphi_B) = C \frac{\mathcal{E}(R_3 - R_1)}{R_1 + R_2} = -8 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$



# Правила Кирхгофа

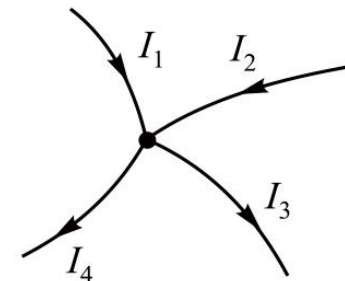
## 1. Первое правило Кирхгофа.

Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_i I_i = 0$$

Точка соединения нескольких проводников называется узлом.

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0.$$



## 2. Второе правило Кирхгофа.

Алгебраическая сумма падений напряжений на замкнутом контуре разветвленной цепи равна алгебраической сумме ЭДС:

$$\sum_i I_i R_i = \sum_i \mathcal{E}_i$$

**Задача 11.** Рассчитать токи во всех участках цепи, изображенной на рисунке, если ЭДС соответственно равны 2 В, 4 В, 6 В;  $r_1 = r_2 = r_3 = 2$  Ом,  $R = 9$  Ом.

**Решение.**

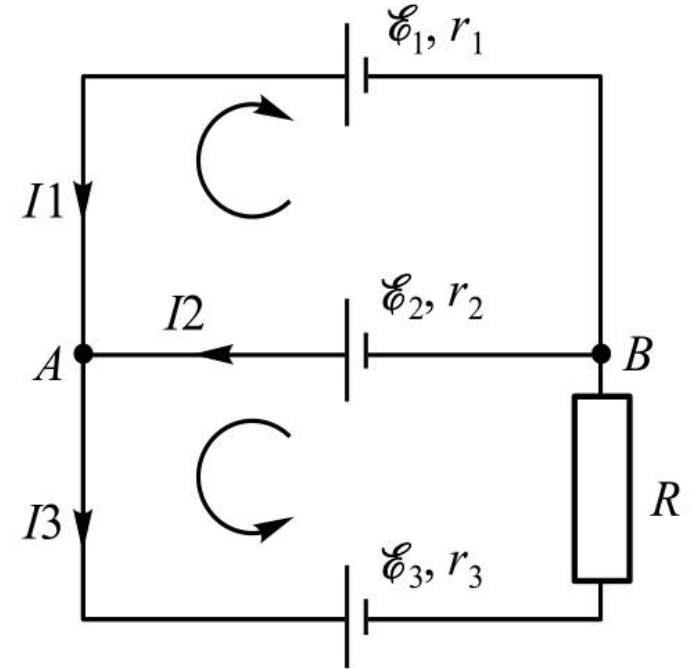
$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 r + I_3 (R + r) = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3$$

$$I_2 r - I_1 r = -\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2$$

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{r} + I_1 \quad I_3 = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_3}{r + R} - \frac{I_1 r}{r + R}$$

$$I_1 = -0,75 \text{ A}, I_2 = 0,25 \text{ A}, I_3 = -0,5 \text{ A}$$



## Тепловое действие тока. Закон Джоуля-Ленца

$$A = qU = IUt \quad Q = A$$

$$Q = IUt = I^2 R t = (U^2 / R)t$$

**Задача 12.** Определите ток короткого замыкания  $I_{кз}$ , для источника, который при токе в цепи 10 А имеет полезную мощность 500 Вт, а при токе 5 А – мощность 375 Вт.

**Решение.**

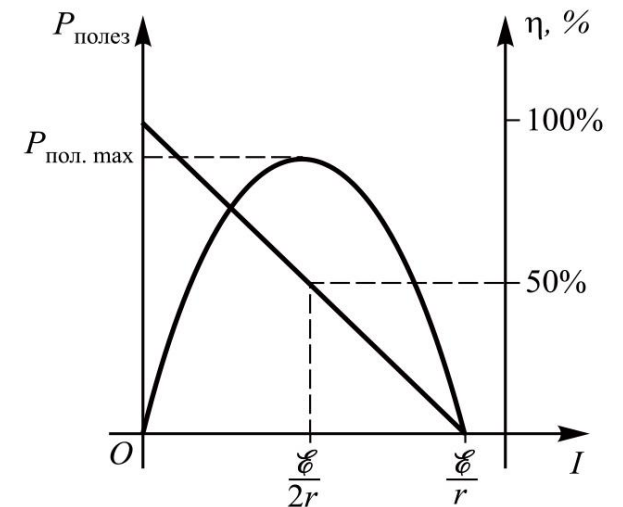
$$I_{кз} = \frac{\mathcal{E}}{r} \quad U_1 = \frac{P_1}{I_1} = \mathcal{E} - I_1 r \quad U_2 = \frac{P_2}{I_2} = \mathcal{E} - I_2 r$$

$$\frac{P_1}{I_1} - \frac{P_2}{I_2} = (\mathcal{E} - I_1 r) - (\mathcal{E} - I_2 r) = (I_2 - I_1)r$$

$$r = \frac{P_1 I_2 - P_2 I_1}{I_1 I_2 (I_2 - I_1)} \quad \mathcal{E} = U_1 + I_1 r = \frac{P_1}{I_1} + \frac{I_1 (P_1 I_2 - P_2 I_1)}{I_1 I_2 (I_2 - I_1)}$$

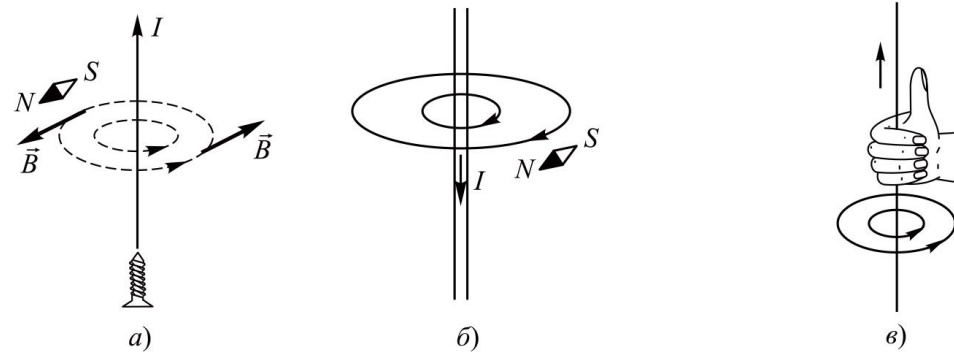
$$r = \frac{500 \cdot 5 - 375 \cdot 10}{10 \cdot 5 \cdot (5 - 10)} \text{ Ом} = 5 \text{ Ом} \quad \mathcal{E} = \frac{500}{10} + \frac{500 \cdot 5 - 375 \cdot 10}{5 \cdot (5 - 10)} \text{ В} = 100 \text{ В}$$

$$I_{кз} = 20 \text{ А}$$



# Магнитное поле. Индукция магнитного поля

**Правило правого винта:** если направление поступательного движения винта совпадает с направлением тока, то направление вращения головки винта укажет направление линий магнитной индукции.



## Индукции магнитного поля, созданного различными проводниками с током

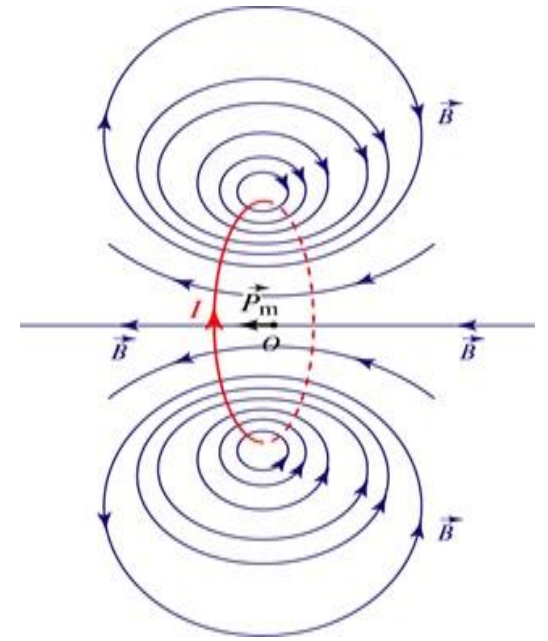
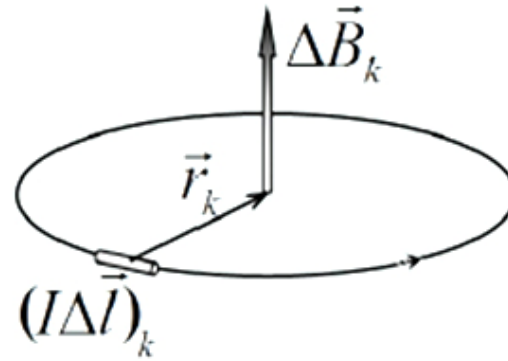
1) Индукция поля, создаваемого бесконечным прямым проводником с током, на расстоянии  $d$  от проводника равна

$$B = \mu\mu_0 \frac{I}{2\pi d}$$

2) Магнитная индукция поля в центре кругового витка с током

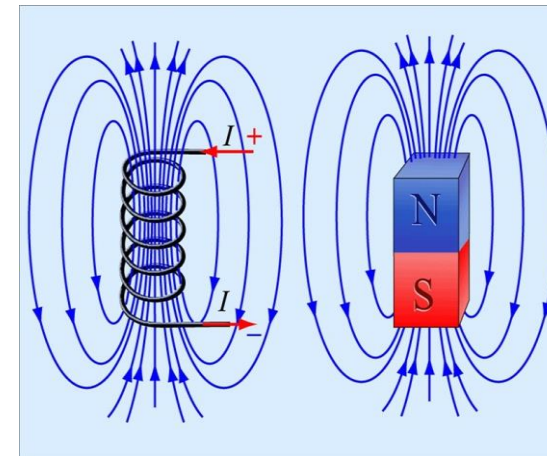
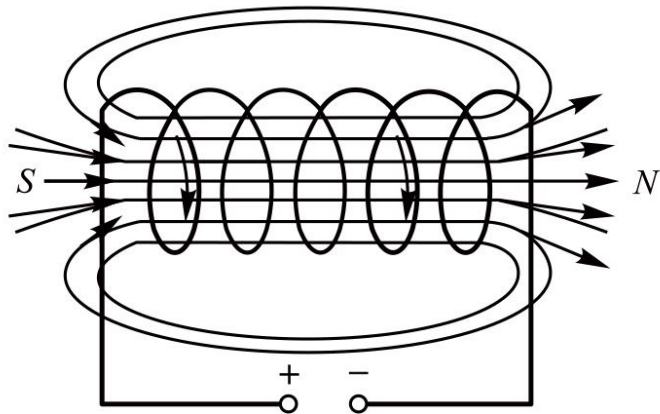
$$\Delta B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I\Delta l_k}{r^2}$$

$$B = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I2\pi r}{r^2} = \frac{\mu\mu_0 I}{2r}$$



3) Магнитная индукция поля в центре соленоида (вдали от концов соленоида, где поле существенно неоднородно) равна

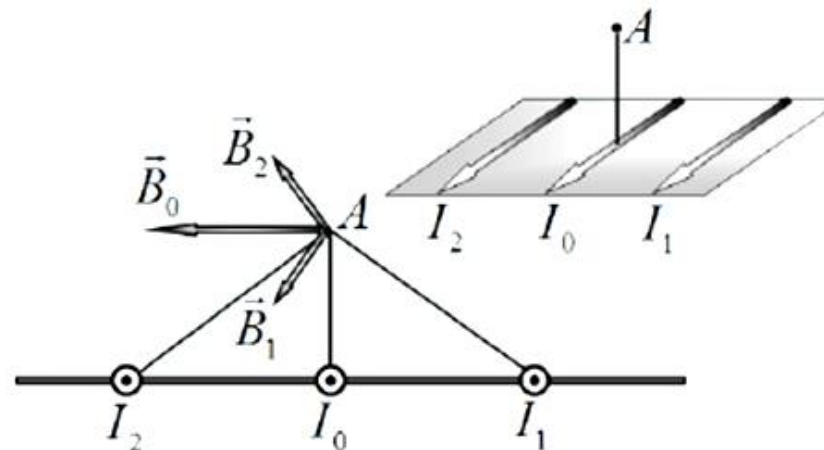
$$B = \mu\mu_0 I n,$$





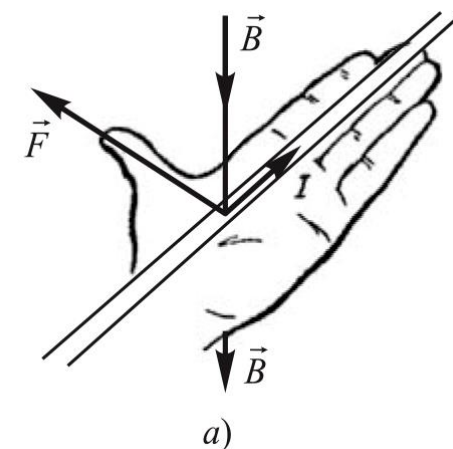
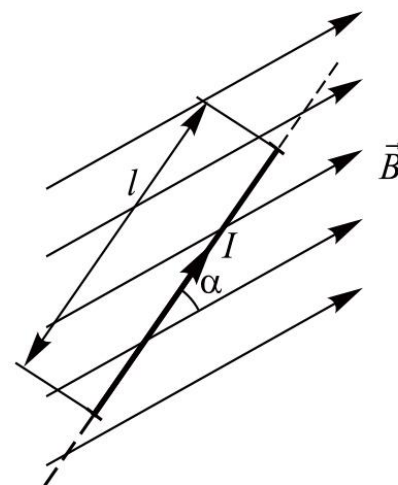
## Принцип суперпозиции

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3 + \dots + \vec{B}_n = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i$$

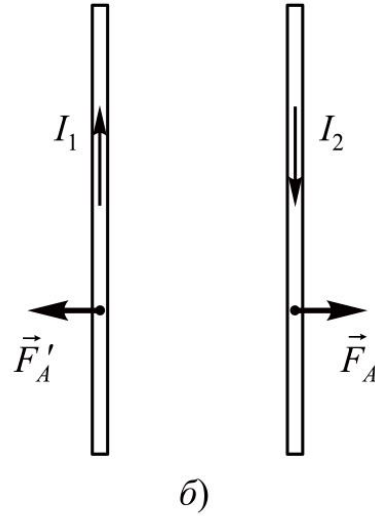
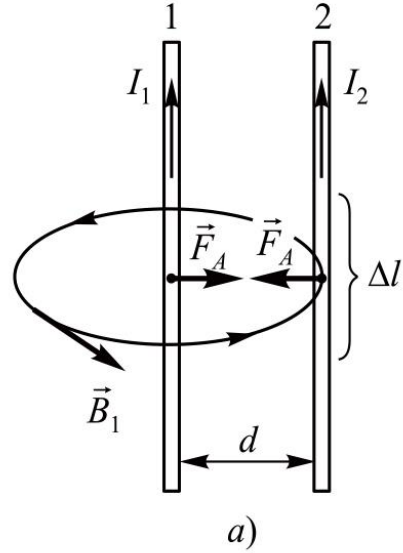


## Закон Ампера

$$|\vec{F}| = I |\vec{B}| l \sin \alpha = IB l \sin \alpha$$



## Взаимодействие двух линейных проводников с током



$$F = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} \Delta l$$

## Движение заряженных частиц в магнитном поле

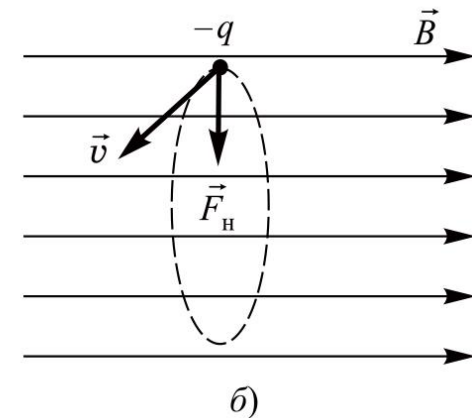
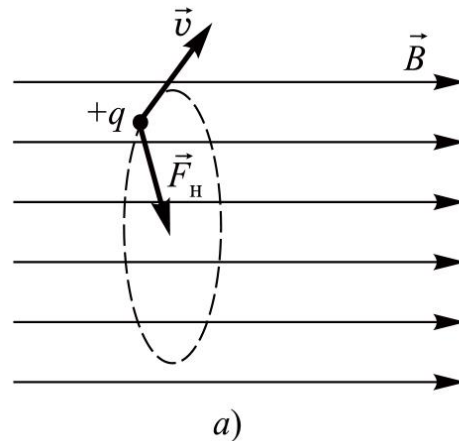
$$F_A = IBlsin\alpha$$

$$I = qn v S$$

$$F_A = qn v S l B sin\alpha$$

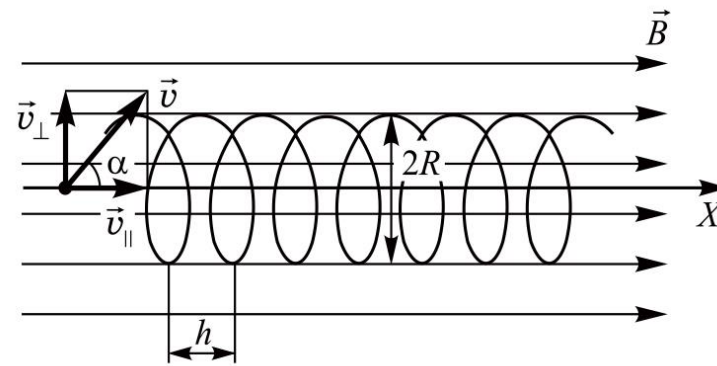
$$n S l = N$$

$$F_{Л} = q v B sin\alpha$$



$$F_{\perp} = qvB \quad \frac{mv^2}{R} = qvB$$

$$R = \frac{mv}{qB} \quad T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$



## Определение индукции магнитного поля

**Задача 13.** Круговой виток радиуса  $r$ , по которому идет ток  $I_2$ , находится вблизи бесконечного прямого провода, по которому идет ток  $I_1$ . Проводник и виток лежат в одной плоскости. Расстояние от центра витка до проводника равно  $2r$ . Определите индукцию магнитного поля в центре витка. Чему должна быть равно отношение сил токов в проводниках, чтобы индукция магнитного поля в центре витка стала равной нулю?

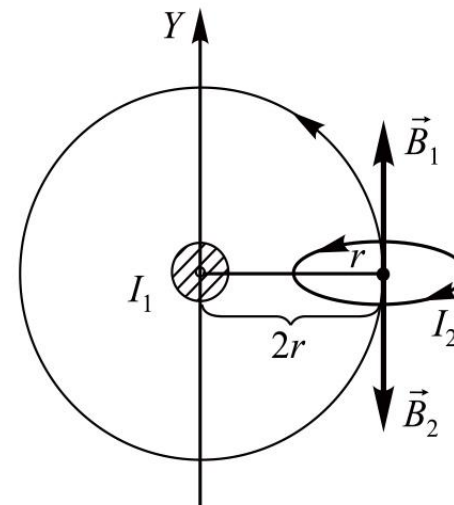
**Решение.**

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

$$B = B_1 - B_2 \quad B_2 = \frac{\mu_0 I_1}{2r} \quad B_1 = \frac{\mu_0 I_2}{4\pi r}$$

$$B = \frac{\mu_0}{2r} \left( I_1 - \frac{I_2}{2\pi} \right)$$

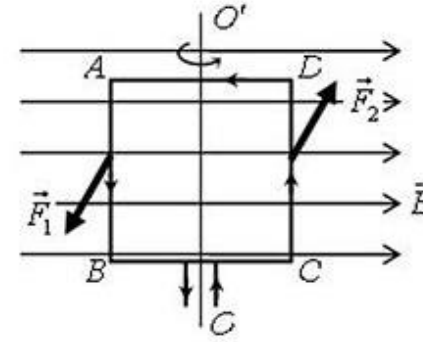
$$I_1 = \frac{I_2}{2\pi} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 2\pi$$



**Задача 14.** Квадратная рамка со стороной  $a = 5$  см, имеющая  $N = 10$  витков, находится в однородном магнитном поле с индукцией  $0,1$  Тл. Сила тока идущего по рамке  $4$  А. Определите максимальный вращательный момент сил, действующих на рамку.

**Решение.**

$$M_{\text{вр}} = N I S B \sin \alpha = N I a^2 B \sin(\pi/2) = 10^{-2} \text{ Н}\cdot\text{м}$$



**Задача 15.** Электрон, прошедший разность потенциалов  $\Delta\phi = 71$  кВ, влетает в вакууме в однородное магнитное поле под углом  $\alpha = 37^\circ$  к линиям магнитной индукции и движется по винтовой линии радиусом  $R = 54$  мм. Определите индукцию магнитного поля и шаг винтовой линии.

$$v_{\parallel} = v \cos \alpha, v_{\perp} = v \sin \alpha \quad F_{\perp} = q v_{\perp} B$$

$$R = \frac{m v_{\perp}}{q B} = \frac{m v \sin \alpha}{q B} \quad B = \frac{m v \sin \alpha}{q R} \quad T = \frac{2 \pi R}{v \sin \alpha}$$

$$\frac{m v^2}{2} = q \Delta \phi \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 q \Delta \phi}{m}}$$

$$B = \frac{\sin \alpha}{q R} \sqrt{\frac{2 m \Delta \phi}{q}} = 10^{-2} \text{ Тл}$$

$$h = v_{\parallel} T = 2 \pi R \operatorname{ctg} \alpha = 452 \text{ мм}$$

## Явления электромагнитной индукции и самоиндукции

Возникновение ЭДС в замкнутом проводящем контуре при изменении со временем магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром, называется **явлением электромагнитной индукцией**.

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right) = -\Phi'$$

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$I_{\text{инд}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{инд}}}{R} = \frac{|\Phi'|}{R}$$

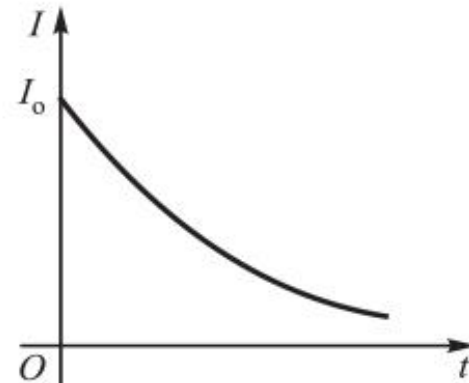
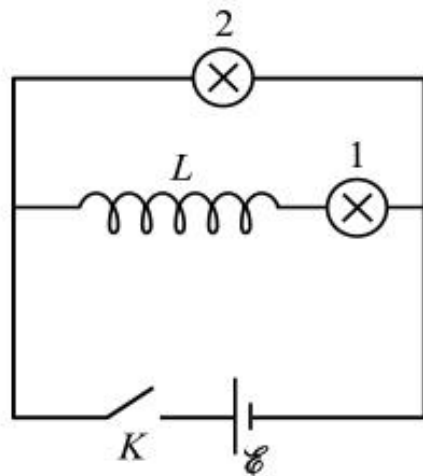
## ЭДС самоиндукции

$$\mathcal{E}_{\text{си}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E}_{\text{си}} = -LI'$$

$$1 \text{ Гн} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А} / \text{с}} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}}$$

$$[\text{Гн}] = \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{А}^2 \cdot \text{с}^2}$$



**Задача 1.** Проводник  $AC$  длиной  $l = 0,4$  м и сопротивлением  $R = 4$  Ом лежит на двух горизонтальных проводниках (шинах), замкнутых на источник тока, ЭДС которого равен 2 В. Проводники находятся в вертикальном магнитном поле с индукцией  $B = 0,2$  Тл. Определите силу тока в проводнике, если он движется равномерно со скоростью  $v = 5$  м/с: а) вправо, б) влево. Сопротивлением шин пренебречь.

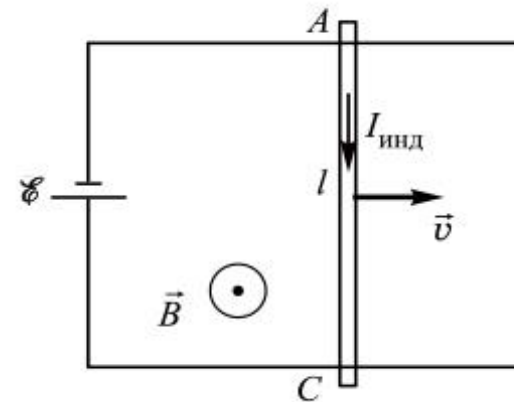
$$|\mathcal{E}_{\text{инд}}| = \left| -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

$$\Delta\Phi = Bl\Delta x, \quad \Delta x = v \Delta t$$

$$|\mathcal{E}_{\text{инд}}| = Bl(\Delta x / \Delta t) = Blv$$

$$I_1 = \frac{\mathcal{E} - Blv}{R} = 0,4 \text{ А}$$

$$\text{б) } I_2 = \frac{\mathcal{E} + Blv}{R} = 0,6 \text{ А}$$



**Задача 2.** Прямоугольная проводящая рамка равномерно вращается в однородном магнитном поле с угловой скоростью  $\omega$ . Индукция магнитного поля  $B$ , площадь рамки  $S$ . Определите ЭДС индукции и постройте графики зависимости ЭДС индукции и магнитного потока от времени.

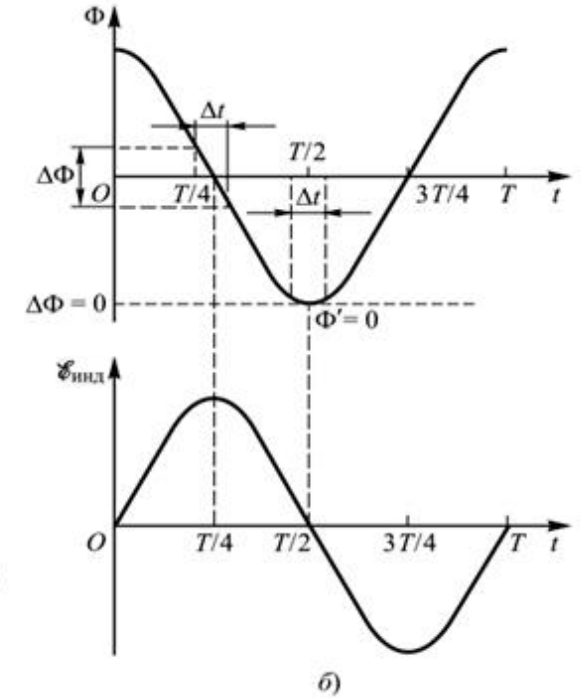
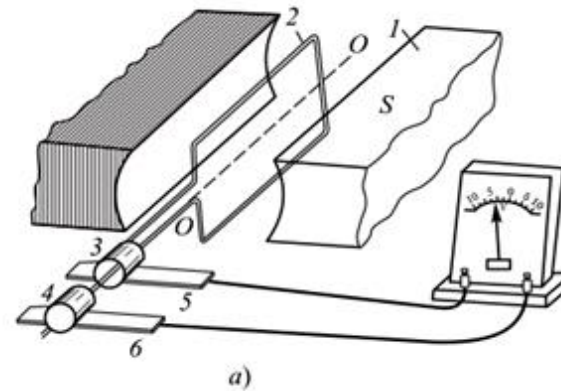
**Решение.**

$$\Phi = \Phi_0 \cos \alpha$$

$$\alpha = \omega t \quad \Phi = BS \cdot \cos \omega t \quad (\alpha = 0 \text{ при } t = 0)$$

$$\mathcal{E}_{\text{инд}} = -\Phi' = BS\omega \sin \omega t = \mathcal{E}_{\text{max}} \sin \omega t$$

$$\mathcal{E}_{\text{max}} = BS \omega$$





### Задание по теме: «Электричество»

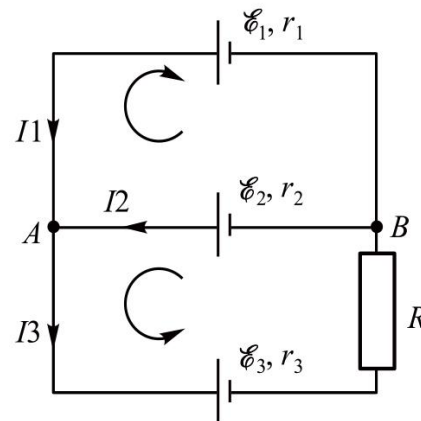
1. Три одинаковых небольших шарика находятся в углах равностороннего треугольника и соединены нерастянутыми пружинами длиной 20 см. Каждому шарiku сообщается одноименный заряд  $2 \cdot 10^{-7}$  Кл, при этом пружины растягиваются на 0,5 см. Определите жесткости пружин.
2. Вычислите максимальный вращательный момент, действующий на диполь (электрон-протон) в однородном электрическом поле, напряженность которого  $E = 100$  В/м. Расстояние между зарядами диполя  $d = 5 \cdot 10^{-11}$  м.
3. Два положительных заряда находятся на расстоянии 10 см друг от друга. В какой точке напряженность электрического поля равна нулю? В какой точке потенциал поля равен нулю?
4. Четыре параллельные заряженные плоскости заряжены, при этом поверхностные плотности зарядов равны:  $\sigma_1, 3\sigma_1, -2\sigma_1, -\sigma_1$ . Определите, где напряженность электрического поля равна нулю (между какими плоскостями) и где она будет максимальна.
5. Скорость электрона в точке поля, потенциал которой  $-10$  В, равна нулю. Какую скорость будет иметь электрон в бесконечно удаленной точке, в которой потенциал можно считать равным нулю?
6. Разность потенциалов между обкладками конденсатора емкостью 0,1 мкФ равна 100 В. Определите изменение энергии электрического поля конденсатора и изменение заряда на пластинах, если, не отключая его от источника напряжения, расстояние между пластинами уменьшить в два раза.
7. Конденсатор электроемкостью  $C_1 = 1$  мкФ, заряженный до разности потенциалов  $U_1 = 100$  В и отключенный от источника, соединили параллельно с конденсатором электроемкостью  $C_2 = 3$  мкФ, заряженным до разности потенциалов  $U_2 = 60$  В. Определите заряд каждого из конденсаторов и разность потенциалов между обкладками после их соединения, если: 1) соединяются обкладки, имеющие одноименные заряды; 2) соединяются обкладки, имеющие разноименные заряды.
8. Два конденсатора емкостями  $C_1$  и  $C_2$  соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения  $U$  (рис. 230). Насколько изменится заряд на конденсаторах, если конденсатор емкостью  $C_2$  заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ ?

8. Два конденсатора емкостями  $C_1$  и  $C_2$  соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения  $U$  (рис. 230). Насколько изменится заряд на конденсаторах, если конденсатор емкостью  $C_2$  заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ ?

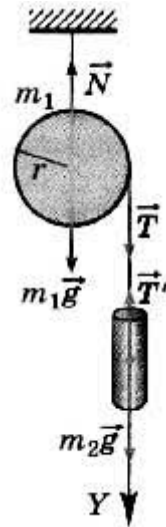
9. Источник тока, замкнутый на проводник, имеет ЭДС  $\mathcal{E} = 10$  В, его внутреннее сопротивление  $r = 2$  Ом. Чему равно сопротивление проводника, если известно, что полезная мощность при замыкании цепи  $P_{\text{пол}} = 6,94$  Вт?

10. К источнику тока с внутренним сопротивлением  $2,4$  Ом подключен проводник, сопротивление которого равно  $6$  Ом. Чему должно быть равно сопротивление второго проводника, параллельно подключенного к первому, чтобы мощность, выделяемая во внешней цепи, была максимальна?

11. Рассчитать токи во всех участках цепи, изображенной на рисунке, если ЭДС соответственно равны  $2$  В,  $6$  В,  $8$  В;  $r_1 = 2$  Ом,  $r_2 = 3$  Ом;  $r_3 = 4$  Ом,  $R = 9$  Ом.



**Задача 1.** Диск массой 1 кг радиусом 20 см расположен на горизонтальной оси вращения. В край диска попадает пуля массой 10 г, летящая со скоростью 200 м/с, и застревает в нем. Определите угловую скорость вращения диска после попадания в него пули.



**Задача 2.** На диск намотана нить, к одному концу которой привязан груз массой 2 кг. Масса и радиус диска 400 г и 20 см. Определите, за какое время груз спустится на высоту 1 м.

**Задача 3.** С высокого берега реки, находящегося на высоте  $h$  над поверхностью воды, бросают тело на противоположный берег, находящийся практически на уровне воды, под углом  $\alpha$  к горизонту. Ширина реки  $l$ . С какой минимальной скоростью нужно бросить тело, чтобы оно оказалось на другом берегу?