



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 9 класс

Вариант 1

### Задание 1.

Рулон ленты разматывается в течение времени  $t$  при скорости протяжки ленты  $v$ . Радиус рулона с лентой равен  $R$ , а конечный радиус рулона без ленты равен  $r$ . Найти толщину ленты  $h$ ?

#### Решение:

Пусть  $L$  – длина размотанной части ленты, тогда

$$L = v \cdot t.$$

Найдем объем  $V$  ленты в рулоне.

$V = \pi dR^2 - \pi dr^2$  – объем ленты, выраженный через радиусы рулона, где  $d$  – ширина ленты.

$V = Ldh$  – объем ленты, выраженный через длину ленты.

Приравняем полученные выражения

$$Ldh = \pi dR^2 - \pi dr^2.$$

Следовательно, толщина  $h$  ленты равна

$$h = \frac{\pi(R^2 - r^2)}{vt}$$

**Ответ:**  $h = \frac{\pi(R^2 - r^2)}{vt}$

### Задание 2.

Прямоугольный брусок из древесины плотностью  $\rho_{\text{др}} = 550 \text{ кг/м}^3$  плавает на поверхности водоема. Когда на поверхность этого бруска сели 18 одинаковых жучков, то его верхняя грань оказалась на одном уровне с поверхностью воды. А после того, как несколько жучков улетело, брусок оказался погруженным в воду на половину своего объёма. Сколько жучков улетело с поверхности бруска? Плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

#### Решение:

Запишем условие плавания бруска с жучками:

$$Mg + 18mg = \rho_{\text{в}}gV, \quad (1)$$

где  $M$  – масса бруска,  $m$  – масса одного жучка,  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды,  $V$  – объем бруска.

Условие равновесия в случае, когда  $n$  жучков улетели, а брусок стал погружен на половину своего объема:

$$Mg + (18 - n)mg = \rho_B g \frac{V}{2}. \quad (2)$$

Из уравнения (1) выразим массу одного жучка:

$$m = \frac{\rho_B g V - Mg}{18g} = \frac{\rho_B V - M}{18}$$

Подставим эту массу в уравнение (2):

$$M + (18 - n) \frac{\rho_B V - M}{18} = \rho_B \frac{V}{2}.$$

Выразим массу бруска через его объем  $V$  и плотность  $\rho_{бр}$ :

$$M = \rho_{бр} \cdot V.$$

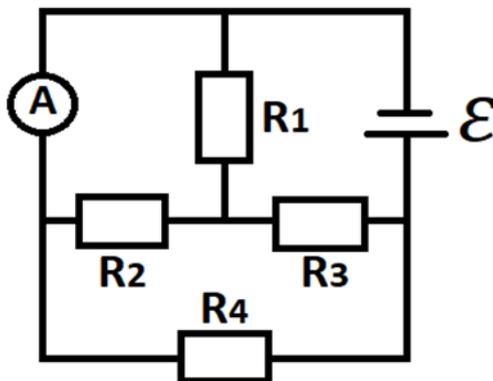
$$\rho_{бр} \cdot V + (18 - n) \frac{\rho_B V - \rho_{бр} \cdot V}{18} = \rho_B \frac{V}{2}$$

Решаем уравнение и получаем, что  $n = 10$

**Ответ:** 10 жучков

### Задание 3.

Найдите показания идеального амперметра в схеме, изображенной на рисунке, если сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = R_3 = 10$  Ом,  $R_4 = 15$  Ом, а ЭДС источника  $\varepsilon = 30$  В





Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 9 класс

Вариант 1

**Решение:**

Найдем общее сопротивление всей цепи: резисторы  $R_1$  и  $R_2$  соединены параллельно, поэтому:

$$R_{1-2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ Ом},$$

а резистор  $R_3$  соединен с ними последовательно:

$$R_{1-3} = R_{1-2} + R_3 = 5 + 10 = 15 \text{ Ом}.$$

Резистор  $R_4$  подключен параллельно к  $R_{1-3}$ :

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{1-3} \cdot R_4}{R_{1-3} + R_4} = \frac{15 \cdot 15}{15 + 15} = 7,5 \text{ Ом}.$$

Теперь найдем силу тока, текущего через ЭДС (учтем, что сопротивление амперметра мало):

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R_{\text{общ}}} = \frac{30}{7,5} = 4 \text{ А}.$$

Ток  $I_0$  разделяет на равных тока  $I_1$  и  $I_2$  (так как  $R_{1-3}$  и  $R_4$  равны), текущих через резисторы  $R_{1-3}$  и  $R_4$  соответственно:

$$I_0 = I_1 + I_2$$
$$I_1 = I_2 = \frac{I_0}{2} = 2 \text{ А}.$$

Ток  $I_1$  разделяет на равных тока  $I_3$  и  $I_4$ , текущих через резисторы  $R_1$  и  $R_2$  соответственно.

Найдем ток  $I_4$ , текущий через резистор  $R_2$ :

$$I_4 = \frac{I_1}{2} = 1 \text{ А}.$$

Ток  $I_A$ , текущий через идеальный амперметр, складывается из  $I_4$  и  $I_2$ :

$$I_A = I_4 + I_2 = 1 + 2 = 3 \text{ А}.$$

**Ответ:**  $I_A = 3 \text{ А}$



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 9 класс

Вариант 1

**Задание 4.**

Между обкладками плоского конденсатора залили воду с температурой 20 °С. Найти через какое время вода закипит, если на обкладки конденсатора подано напряжение 50 В. Теплоёмкостью обкладок и потерями теплоты пренебречь. Атмосферное давление нормальное. Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоёмкость воды  $c = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , удельное электрическое сопротивление воды  $r = 3200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Площадь обкладок  $25 \text{ см}^2$ , расстояние между обкладками 3 см.

**Решение:**

Запишем сопротивление проводника:

$$R = r \frac{S}{l} = 38400 \text{ Ом}$$

Выделяемая тепловая мощность:

$$P = \frac{U^2}{R} = 0.0651 \text{ Вт}$$

Найдем массу воды и количество теплоты необходимое, чтобы её нагреть.

$$m = \rho Sl = 0.075 \text{ кг}$$

$$Q = cm\Delta T = 25200 \text{ Дж}$$

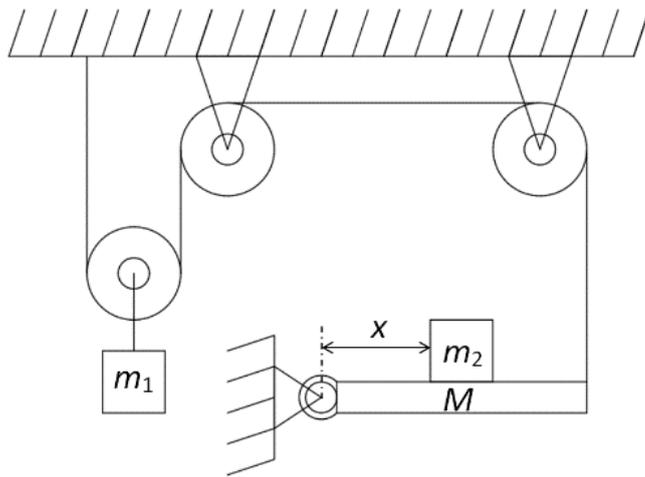
Найдем время нагрева:

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{c\rho Sl\Delta T r S}{U^2 l} = 387000 \text{ с} = 107.5 \text{ часов}$$

**Ответ:**  $t = \frac{c\rho Sl\Delta T r S}{U^2 l} = 387000 \text{ с} = 107.5 \text{ часов}$

**Задание 5.**

Система из блоков, двух грузов и доски показана на рисунке. Найти на каком расстоянии от идеального шарнира должен находиться груз  $m_2$ , чтобы система находилась в равновесии, если  $m_1 = 5$  кг,  $m_2 = 1.5$  кг,  $M = 3$  кг, длина доски равна 30 см. Размерами шарнира пренебречь.



**Решение:**

Запишем моменты сил относительно оси вращения доски (шарнира):

$$\frac{Mgl}{2} + m_2gx = \frac{m_1gl}{2}$$

$$\frac{M}{2} + m_2 \frac{x}{l} = \frac{m_1}{2}$$

$$x = (m_1 - M) \frac{l}{2m_2} = 20 \text{ см.}$$

**Ответ:**  $x = (m_1 - M) \frac{l}{2m_2} = 20 \text{ см.}$



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 9 класс

Вариант 2

### Задание 1.

Рулон проволоки разматывается в течение времени  $t$  при скорости протяжки проволоки  $v$ . Радиус рулона с намотанной проволокой равен  $R$ , а конечный радиус рулона без проволоки равен  $r$ . Плотность материала проволоки  $\rho$ , а её диаметр  $d$ . Найти массу размотанной за время  $t$  проволоки?

#### Решение:

Пусть  $L$  – длина размотанной части проволоки, тогда:

$$L = v \cdot t.$$

Найдем объем  $V$  проволоки в рулоне:

$V = L \frac{\pi d^2}{4}$  - объем проволоки, выраженный через длину размотанной части проволоки.

Подставим длину проволоки, получим:

$$V = v \cdot t \cdot \frac{\pi d^2}{4}$$

Масса проволоки:  $m = \rho \cdot V = \rho \cdot v \cdot t \cdot \frac{\pi d^2}{4}$

**Ответ:**  $m = \rho \cdot v \cdot t \cdot \frac{\pi d^2}{4}$

### Задание 2.

Прямоугольный брусок из пенопласта плотностью  $\rho_{\text{пен}} = 200 \text{ кг/м}^3$  плавает на поверхности водоема. На брусок положили 12 одинаковых маленьких камушка, и он погрузился в воду так, что его верхняя грань оказалась на уровне поверхности воды. А после того, как несколько камушков убрали, брусок стал погружен в воду на треть своего объёма. Сколько шариков сняли с поверхности бруска? Плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

#### Решение:

Запишем условие плавания бруска с камушками:

$$Mg + 12mg = \rho_{\text{в}}gV, \quad (1)$$

где  $M$  – масса бруска,  $m$  – масса одного камушка,  $\rho_{\text{в}}$  – плотность воды,  $V$  – объем бруска.



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 9 класс

Вариант 2

Условие равновесия в случае, когда  $n$  камушков убрали, а брусок стал погружен на треть своего объема:

$$Mg + (12 - n)mg = \rho_B g \frac{V}{3}. \quad (2)$$

Из уравнения (1) выразим массу одного камушка:

$$m = \frac{\rho_B g V - Mg}{12g} = \frac{\rho_B V - M}{12}$$

Подставим эту массу в уравнение (2):

$$M + (12 - n) \frac{\rho_B V - M}{12} = \rho_B \frac{V}{3}.$$

Выразим массу бруска через его объем  $V$  и плотность  $\rho_{бр}$ :

$$M = \rho_{бр} \cdot V.$$

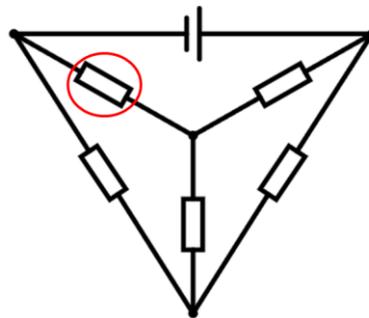
$$\rho_{бр} \cdot V + (12 - n) \frac{\rho_B V - \rho_{бр} \cdot V}{12} = \rho_B \frac{V}{3}$$

Решаем уравнение и получаем, что  $n = 10$ .

**Ответ:** 10 камушков

### Задание 3.

На схеме показанной, на рисунке найти ток через отмеченный резистор, если все резисторы одинаковые и равны 10 Ом, все ЭДС одинаковые и равны 5 В.



**Решение:**

Точки А и В эквипотенциальные, следовательно:

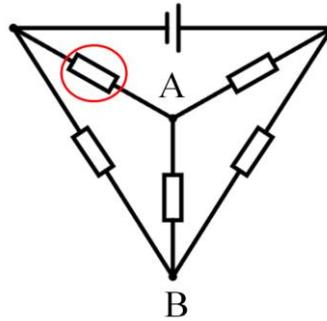


Схема преобразуется в две параллельные ветви с последовательно соединенными резисторами. Ток через эти резисторы будет равен:

$$I = \frac{\varepsilon}{2R} = 0.25 \text{ A}$$

**Ответ:**  $I = \frac{\varepsilon}{2R} = 0.25 \text{ A}$

**Задание 4.**

Пузырек воздуха всплывает со дна водоема. Найти глубину водоема, если при поёме объём пузырька увеличился в 5 раз. Давления на поверхности считать атмосферным ( $10^5 \text{ Па}$ ).

**Решение:**

Объём пузырька характеризуется равенством давлений снаружи и внутри.

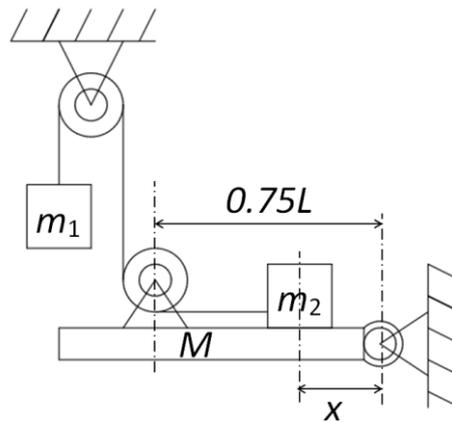
$$PV = \text{const} \rightarrow (P_n + \rho gh)V_1 = P_n V_2 \rightarrow (P_n + \rho gh)V_1 = P_n 5V_1$$

$$\rho gh = 4P_n \rightarrow h = \frac{4P_n}{\rho g} = 40.8 \text{ м}$$

**Ответ:**  $h = \frac{4P_n}{\rho g} = 40.8 \text{ м}$

**Задание 5.**

Система из блоков, двух грузов и доски показана на рисунке. Найти на каком расстоянии от идеального шарнира должен находиться груз  $m_2$ , и минимальный коэффициент трения, между доской и грузом, что бы система находилась в равновесии, если  $m_1 = 4$  кг,  $m_2 = 1.5$  кг,  $M = 4$  кг, длина доски равна 30 см. Размерами шарнира пренебречь.



**Решение:**

$$\frac{Mgl}{2} + m_2gx = 0,75m_1gl \rightarrow x = \left( \frac{3m_1 - 2M}{4} \right) \frac{l}{m_2} = 20 \text{ см}$$

$$\mu m_2g = m_1g \rightarrow \mu = \frac{m_1}{m_2} = 2.6 \text{ (прилипание)}$$

**Ответ:**  $x = \left( \frac{3m_1 - 2M}{4} \right) \frac{l}{m_2} = 20 \text{ см}, \mu = \frac{m_1}{m_2} = 2.6$



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 10 класс

Вариант 1

### Задание 1.

Три концентрические металлические сферы радиусами  $R$ ,  $2R$  и  $3R$  заряжены зарядами  $Q$ ,  $-2Q$  и  $4Q$  соответственно. Сферу радиусом  $R$  заземляют с помощью проводника ничтожно малой ёмкости через малые отверстия в двух других сферах. Какой заряд  $q$  протечет по проводнику в направлении от сферы радиусом  $R$  к земле?

### Решение:

Запишем потенциал сферы радиусом  $R$  после заземления:

$$\varphi_1 = \frac{k \cdot (Q - q)}{R} + \frac{k \cdot (-2Q)}{2R} + \frac{k \cdot 4Q}{3R} = \frac{4kQ - 3kq}{3R},$$

где  $k$  – постоянная Кулона,  $\varphi_1$  – потенциал сферы радиусом  $R$ ,  $q$  – заряд, прошедший по проводнику от сферы радиусом  $R$  к земле.

После заземления потенциал  $\varphi_1$  станет равным нулю:

$$\varphi_1 = \frac{4kQ - 3kq}{3R} = 0,$$

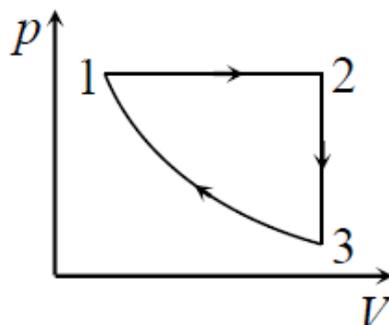
Из этого уравнения найдем заряд  $q$ :

$$q = \frac{4Q}{3}.$$

**Ответ:**  $q = \frac{4Q}{3}$

### Задание 2.

Найти термодинамический КПД цикла 1-2-3-1, изображенного на рисунке ( $p$  – давление газа,  $V$  – его объем, процесс 3-1 – изотермический), если рабочее тело – одноатомный идеальный газ. Известно, что работа газа  $A_{3-1}$  в процессе 3-1 составляет  $2/3$  от работы газа  $A_{1-2}$  в процессе 1-2.





Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 10 класс

Вариант 1

**Решение:**

Термодинамический КПД циклического процесса можно найти как отношение работы газа за цикл к количеству теплоты, полученному газом от нагревателя также за цикл:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} \cdot 100\%.$$

Найдем работу газа за цикл:

$$A_{1-2-3-1} = A_{1-2} - A_{2-3} - A_{3-1}.$$

Процесс 1-2 – изобарическое расширение идеального одноатомного газа, в этом процессе газ получает количество теплоты  $Q_{1-2}$ , которое согласно первому началу термодинамики равно:

$$\begin{aligned} Q_{1-2} &= \Delta U_{1-2} + A_{1-2}. \\ Q_{1-2} &= \frac{3}{2}A_{1-2} + A_{1-2} = \frac{5}{2}A_{1-2}. \end{aligned}$$

Процесс 2-3 – изохорное охлаждение газа, в этом процессе работа газа  $A_{2-3}$  равна нулю.

По условию работа газа в изотермическом процессе 3-1 равна  $2/3$  от работы газа в изобарном процессе  $A_{1-2}$ , поэтому:

$$A_{3-1} = \frac{2}{3}A_{1-2}.$$

Таким образом, работа идеального одноатомного газа за цикл равна:

$$A_{1-2-3-1} = A_{1-2} - \frac{2}{3}A_{1-2} = \frac{1}{3}A_{1-2}.$$

В данном цикле газ получает тепло только на участке 1-2, а в остальных двух процессах он отдает тепло, поэтому количество теплоты  $Q_H$ , полученное газом в течение цикла от нагревателя, равно:

$$Q_H = \frac{5}{2}A_{1-2}.$$

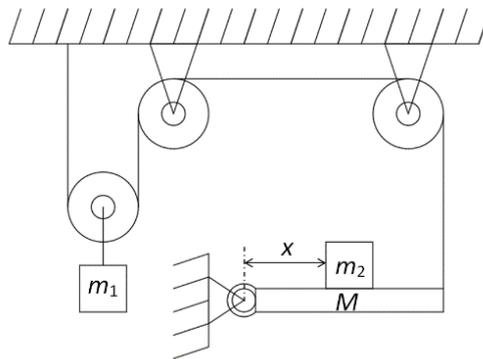
Таким образом, термодинамический КПД данного цикла равен:

$$\eta = \frac{\frac{1}{3}A_{1-2}}{\frac{5}{2}A_{1-2}} \cdot 100\% = \frac{2}{15} \cdot 100\% = 13,3\%.$$

**Ответ:**  $\eta = 13,3\%$

**Задание 3.**

Система из блоков, двух грузов и доски показана на рисунке. Найти на каком расстоянии от идеального шарнира должен находиться груз  $m_2$ , чтобы система находилась в равновесии, если  $m_1 = 5$  кг,  $m_2 = 1.5$  кг,  $M = 3$  кг, длина доски равна 30 см. Размерами шарнира пренебречь.



**Решение:**

Запишем моменты сил относительно оси вращения доски (шарнира):

$$\frac{Mgl}{2} + m_2gx = \frac{m_1gl}{2}$$

$$\frac{M}{2} + m_2 \frac{x}{l} = \frac{m_1}{2}$$

$$x = (m_1 - M) \frac{l}{2m_2} = 20 \text{ см}$$

**Ответ:**  $x = (m_1 - M) \frac{l}{2m_2} = 20$  см.

**Задание 4.**

Эластичный метеозонд, заполненный 2 молями гелия, поднимается с поверхности Земли с уровня моря. Найти зависимость ускорения зонда от высоты, если зависимость давления от высоты имеет следующий вид  $p(h) = p_0 e^{-\frac{\mu_B gh}{RT}}$ , где  $p_0 = 10^5$  Па,  $\mu_B = 28$  г/моль,  $T = 273$  К,  $R = 8.31$  Дж/(моль·К). Зонд несет груз массой 20 г, сопротивлением воздуха, упругостью оболочки метеозонда, изменением температуры и силы тяжести с высотой – пренебречь. Молярная масса гелия 4 г/моль.



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 10 класс

Вариант 1

**Решение:**

Если зонд эластичный значит, его объём будет изменяться из-за изменения давления  $p(h)$ :

$$p(h)V = \nu RT = const \rightarrow V = \frac{\nu RT}{p(h)}$$

Запишем силу Архимеда с учетом того, что плотность воздуха тоже будет изменяться:

$$p(h) = \rho \frac{RT}{\mu}$$

$$\rho(h) = \frac{p(h)\mu}{RT}$$

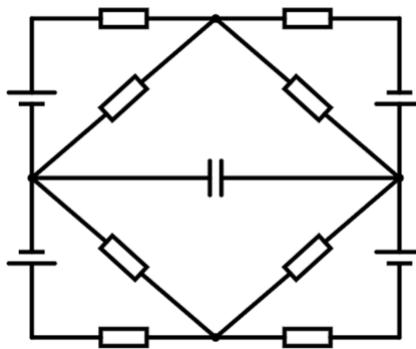
$$\rho(h)gV = ma$$

$$a = \frac{p(h)\mu}{RT} \frac{g}{m} \frac{\nu RT}{p(h)} = \frac{\mu g \nu}{m} = const$$

**Ответ:**  $a = \frac{\mu g \nu}{m} = const$  (ускорение от высоты не зависит).

**Задание 5.**

На схеме показанной, на рисунке найти заряд на конденсаторе, если все резисторы одинаковые и равны 20 Ом, все ЭДС одинаковые и равны 5 В, емкость конденсатора 10 мкФ.





Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

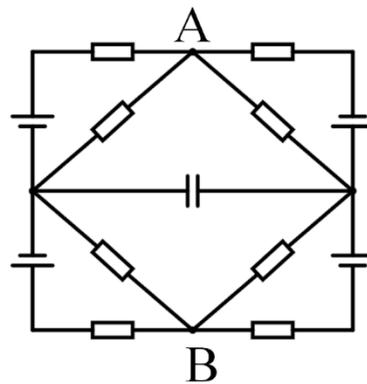
2024/2025

Заключительный этап

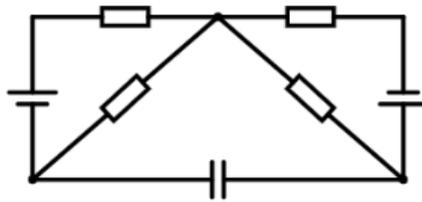
Физика 10 класс

Вариант 1

**Решение:**



В силу симметрии схемы точки А и В являются эквипотенциальными, следовательно можно рассмотреть только верхнюю половину схемы.



Из-за равенства номиналов резисторов и симметрии падение напряжение на одном резисторе будет составлять  $\varepsilon/2 = 2.5$  В. Поскольку конденсатор подключен параллельно двум резисторам, следовательно, напряжение на конденсаторе будет равно  $\varepsilon = 5$  В.

$$Q = C\varepsilon = 50\text{мкКл}$$

**Ответ:**  $Q = C\varepsilon = 50\text{мкКл}$



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 10 класс

Вариант 2

### Задание 1.

Три концентрические металлические сферы радиусами  $R$ ,  $2R$  и  $3R$  заряжены зарядами  $Q$ ,  $2Q$  и  $-4Q$  соответственно. Сферу радиусом  $R$  заземляют с помощью проводника ничтожно малой ёмкости через малые отверстия в двух других сферах. Какой заряд  $q$  протечет по проводнику в направлении от сферы радиусом  $R$  к земле?

#### Решение:

Запишем потенциал сферы радиусом  $R$  после заземления:

$$\varphi_1 = \frac{k \cdot (Q - q)}{R} + \frac{k \cdot 2Q}{2R} + \frac{k \cdot (-4Q)}{3R} = \frac{2kQ - 3kq}{3R},$$

где  $k$  – постоянная Кулона,  $\varphi_1$  – потенциал сферы радиусом  $R$ ,  $q$  – заряд, прошедший по проводнику от сферы радиусом  $R$  к земле.

После заземления потенциал  $\varphi_1$  станет равным нулю:

$$\varphi_1 = \frac{2kQ - 3kq}{3R} = 0,$$

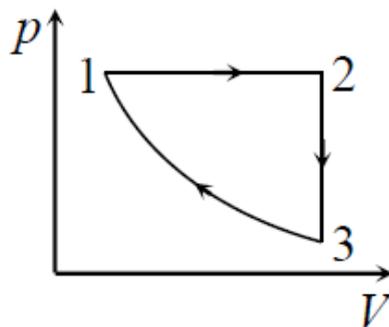
Из этого уравнения найдем заряд  $q$ :

$$q = \frac{2Q}{3}.$$

**Ответ:**  $q = \frac{2Q}{3}$

### Задание 2.

Найти термодинамический КПД цикла 1-2-3-1, изображенного на рисунке ( $p$  – давление газа,  $V$  – его объем, процесс 3-1 – изотермический), если рабочее тело – одноатомный идеальный газ. Известно, что работа газа в изобарном процессе в 1,5 раза больше работы газа в изотермическом процессе.





Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 10 класс

Вариант 2

**Решение:**

Термодинамический КПД циклического процесса можно найти как отношение работы газа за цикл к количеству теплоты, полученному газом от нагревателя также за цикл:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} \cdot 100\%.$$

Найдем работу газа за цикл:

$$A_{1-2-3-1} = A_{1-2} - A_{2-3} - A_{3-1}.$$

Процесс 1-2 – изобарическое расширение идеального одноатомного газа, в этом процессе газ получает количество теплоты  $Q_{1-2}$ , которое согласно первому началу термодинамики равно:

$$\begin{aligned} Q_{1-2} &= \Delta U_{1-2} + A_{1-2}. \\ Q_{1-2} &= \frac{3}{2} A_{1-2} + A_{1-2} = \frac{5}{2} A_{1-2}. \end{aligned}$$

Процесс 2-3 – изохорное охлаждение газа, в этом процессе работа газа  $A_{2-3}$  равна нулю.

По условию работа газа в изотермическом процессе 3-1 равна  $2/3$  от работы газа в изобарном процессе  $A_{1-2}$ , поэтому:

$$A_{3-1} = \frac{2}{3} A_{1-2}.$$

Таким образом, работа идеального одноатомного газа за цикл равна:

$$A_{1-2-3-1} = A_{1-2} - \frac{2}{3} A_{1-2} = \frac{1}{3} A_{1-2}.$$

В данном цикле газ получает тепло только на участке 1-2, а в остальных двух процессах он отдает тепло, поэтому количество теплоты  $Q_H$ , полученное газом в течение цикла от нагревателя, равно:

$$Q_H = \frac{5}{2} A_{1-2}.$$

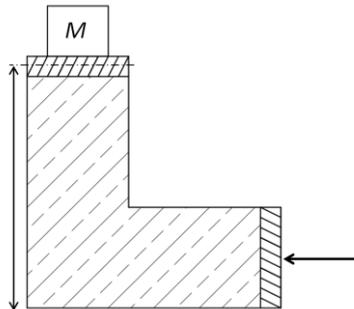
Таким образом, термодинамический КПД данного цикла равен:

$$\eta = \frac{\frac{1}{3} A_{1-2}}{\frac{5}{2} A_{1-2}} \cdot 100\% = \frac{2}{15} \cdot 100\% = 13,3\%.$$

**Ответ:**  $\eta = 13,3\%$

**Задание 3.**

Гидравлическая система, заполненная водой, показанная на рисунке, поднимает груз  $M$  равный 2 кг с высоты 30 см на высоту 50 см. Найти во сколько раз при этом увеличилось давление, оказываемое на нижний поршень, для совершения этого действия. Оба поршня одинаковые имеют радиус 5 см, толщиной и массой поршней пренебречь.



**Решение:**

Поскольку давление жидкости меняется на всём нижнем поршне, но линейно зависит от высоты столба жидкости, возьмём его среднее значение в центре поршня, запишем условие равенства давлений:

$$\begin{aligned} \frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_1 - R) = P_1 & \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_2 - R)}{\frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_1 - R)} = 1.7 \\ \frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_2 - R) = P_2 & \end{aligned}$$

**Ответ:**  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_2 - R)}{\frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_1 - R)} = 1.7$

**Задание 4.**

Пластины плоского вертикально расположенного конденсатора удерживаются системой пружин общей жёсткостью 5 Н/м на расстоянии 20 см при отсутствующем напряжении на обкладках конденсатора. Найти какое напряжение надо подать на обкладки конденсатора, чтобы расстояние между ними стало равно 5 см. Система пружин находится снаружи конденсатора и не взаимодействует с его электрическим полем. Площадь обкладок 25 см<sup>2</sup>.



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 10 класс

Вариант 2

**Решение:**

Энергия взаимодействия пластин конденсатора будет равна энергии деформации пружин:

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{k\Delta x^2}{2} \rightarrow \varepsilon_0 S U^2 = dk\Delta x^2 \rightarrow U = \sqrt{\frac{dk\Delta x^2}{\varepsilon_0 S}} = 5 \cdot 10^5 \text{ В.}$$

**Ответ:**  $U = \sqrt{\frac{dk\Delta x^2}{\varepsilon_0 S}} = 5 \cdot 10^5 \text{ В.}$

**Задание 5.**

Между обкладками плоского конденсатора залили воду с температурой 20 °С. Найти через какое время вода закипит, если на обкладки конденсатора подано напряжение 50 В. Теплоёмкостью обкладок и потерями теплоты пренебречь. Атмосферное давление нормальное. Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , удельная теплоёмкость воды  $c = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ , удельное электрическое сопротивление воды  $r = 3200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Площадь обкладок  $25 \text{ см}^2$ , расстояние между обкладками 3 см.

**Решение:**

Запишем сопротивление проводника:

$$R = r \frac{S}{l} = 38400 \text{ Ом}$$

Выделяемая тепловая мощность:

$$P = \frac{U^2}{R} = 0.0651 \text{ Вт}$$

Найдем массу воды и количество теплоты необходимое, чтобы её нагреть.

$$m = \rho S l = 0.075 \text{ кг}$$

$$Q = cm\Delta T = 25200 \text{ Дж}$$

Найдем время нагрева:

$$t = \frac{Q}{P} = \frac{c\rho S l \Delta T r S}{U^2 l} = 387000 \text{ с} = 107.5 \text{ часов}$$

**Ответ:**  $t = \frac{c\rho S l \Delta T r S}{U^2 l} = 387000 \text{ с} = 107.5 \text{ часов}$



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 11 класс

Вариант 1

### Задание 1.

Три концентрические металлические сферы радиусами  $R$ ,  $2R$  и  $3R$  заряжены зарядами  $Q$ ,  $-2Q$  и  $4Q$  соответственно. Сферу радиусом  $R$  заземляют с помощью проводника ничтожно малой ёмкости через малые отверстия в двух других сферах. Какой заряд  $q$  протечет по проводнику в направлении от сферы радиусом  $R$  к земле?

### Решение:

Запишем потенциал сферы радиусом  $R$  после заземления:

$$\varphi_1 = \frac{k \cdot (Q - q)}{R} + \frac{k \cdot (-2Q)}{2R} + \frac{k \cdot 4Q}{3R} = \frac{4kQ - 3kq}{3R},$$

где  $k$  – постоянная Кулона,  $\varphi_1$  – потенциал сферы радиусом  $R$ ,  $q$  – заряд, прошедший по проводнику от сферы радиусом  $R$  к земле.

После заземления потенциал  $\varphi_1$  станет равным нулю:

$$\varphi_1 = \frac{4kQ - 3kq}{3R} = 0,$$

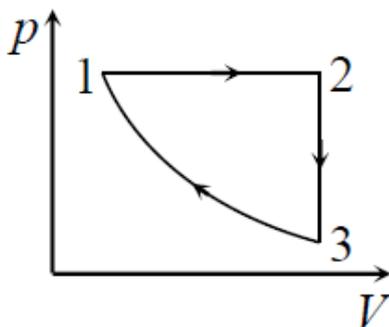
Из этого уравнения найдем заряд  $q$ :

$$q = \frac{4Q}{3}.$$

**Ответ:**  $q = \frac{4Q}{3}$

### Задание 2.

Найти термодинамический КПД цикла 1-2-3-1, изображенного на рисунке ( $p$  – давление газа,  $V$  – его объем, процесс 3-1 – изотермический), если рабочее тело – одноатомный идеальный газ. Известно, что работа газа  $A_{3-1}$  в процессе 3-1 составляет  $2/3$  от работы газа  $A_{1-2}$  в процессе 1-2.





Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 11 класс

Вариант 1

**Решение:**

Термодинамический КПД циклического процесса можно найти как отношение работы газа за цикл к количеству теплоты, полученному газом от нагревателя также за цикл:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} \cdot 100\%.$$

Найдем работу газа за цикл:

$$A_{1-2-3-1} = A_{1-2} - A_{2-3} - A_{3-1}.$$

Процесс 1-2 – изобарическое расширение идеального одноатомного газа, в этом процессе газ получает количество теплоты  $Q_{1-2}$ , которое согласно первому началу термодинамики равно:

$$\begin{aligned} Q_{1-2} &= \Delta U_{1-2} + A_{1-2}. \\ Q_{1-2} &= \frac{3}{2}A_{1-2} + A_{1-2} = \frac{5}{2}A_{1-2}. \end{aligned}$$

Процесс 2-3 – изохорное охлаждение газа, в этом процессе работа газа  $A_{2-3}$  равна нулю.

По условию работа газа в изотермическом процессе 3-1 равна  $2/3$  от работы газа в изобарном процессе  $A_{1-2}$ , поэтому:

$$A_{3-1} = \frac{2}{3}A_{1-2}.$$

Таким образом, работа идеального одноатомного газа за цикл равна:

$$A_{1-2-3-1} = A_{1-2} - \frac{2}{3}A_{1-2} = \frac{1}{3}A_{1-2}.$$

В данном цикле газ получает тепло только на участке 1-2, а в остальных двух процессах он отдает тепло, поэтому количество теплоты  $Q_H$ , полученное газом в течение цикла от нагревателя, равно:

$$Q_H = \frac{5}{2}A_{1-2}.$$

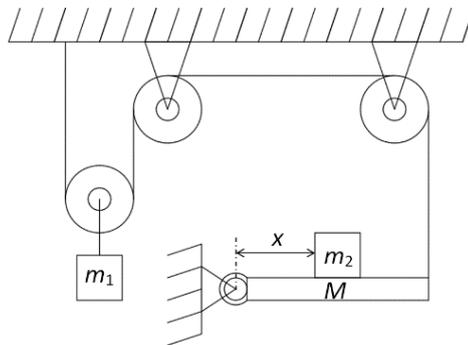
Таким образом, термодинамический КПД данного цикла равен:

$$\eta = \frac{\frac{1}{3}A_{1-2}}{\frac{5}{2}A_{1-2}} \cdot 100\% = \frac{2}{15} \cdot 100\% = 13,3\%.$$

**Ответ:**  $\eta = 13,3\%$

**Задание 3.**

Система из блоков, двух грузов и доски показана на рисунке. Найти на каком расстоянии от идеального шарнира должен находиться груз  $m_2$ , чтобы система находилась в равновесии, если  $m_1 = 5$  кг,  $m_2 = 1.5$  кг,  $M = 3$  кг, длина доски равна 30 см. Размерами шарнира пренебречь.



**Решение:**

Запишем моменты сил относительно оси вращения доски (шарнира):

$$\frac{Mgl}{2} + m_2gx = \frac{m_1gl}{2}$$

$$\frac{M}{2} + m_2 \frac{x}{l} = \frac{m_1}{2}$$

$$x = (m_1 - M) \frac{l}{2m_2} = 20 \text{ см.}$$

**Ответ:**  $x = (m_1 - M) \frac{l}{2m_2} = 20$  см.

**Задание 4.**

Эластичный метеозонд, заполненный 2 молями гелия, поднимается с поверхности Земли с уровня моря. Найти зависимость ускорения зонда от высоты, если зависимость давления от высоты имеет следующий вид  $p(h) = p_0 e^{-\frac{\mu_B gh}{RT}}$ , где  $p_0 = 10^5$  Па,  $\mu_B = 28$  г/моль,  $T = 273$  К,  $R = 8.31$  Дж/(моль·К). Зонд несет груз массой 20 г, сопротивлением воздуха, упругостью оболочки метеозонда, изменением температуры и силы тяжести с высотой – пренебречь. Молярная масса гелия 4 г/моль.



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 11 класс

Вариант 1

**Решение:**

Если зонд эластичный значит, его объём будет изменяться из-за изменения давления  $p(h)$ :

$$p(h)V = \nu RT = const \rightarrow V = \frac{\nu RT}{p(h)}$$

Запишем силу Архимеда с учетом того, что плотность воздуха тоже будет изменяться:

$$p(h) = \rho \frac{RT}{\mu}$$

$$\rho(h) = \frac{p(h)\mu}{RT}$$

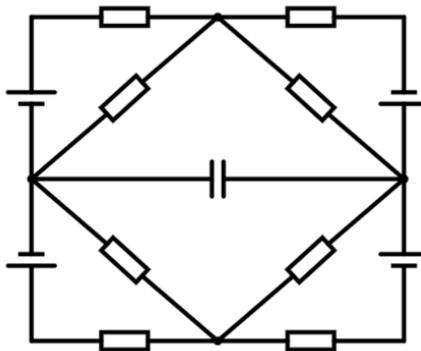
$$\rho(h)gV = ma$$

$$a = \frac{p(h)\mu}{RT} \frac{g}{m} \frac{\nu RT}{p(h)} = \frac{\mu g \nu}{m} = const$$

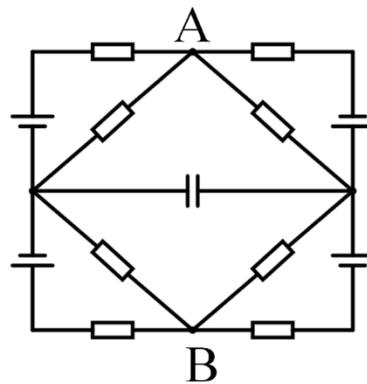
**Ответ:**  $a = \frac{\mu g \nu}{m} = const$  (ускорение от высоты не зависит).

**Задание 5.**

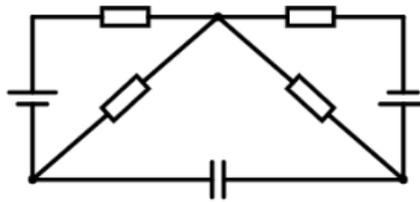
На схеме показанной, на рисунке найти заряд на конденсаторе, если все резисторы одинаковые и равны 20 Ом, все ЭДС одинаковые и равны 5 В, емкость конденсатора 10 мкФ.



**Решение:**



В силу симметрии схемы точки А и В являются эквипотенциальными, следовательно можно рассмотреть только верхнюю половину схемы.



Из-за равенства номиналов резисторов и симметрии падение напряжение на одном резисторе будет составлять  $\varepsilon/2 = 2.5$  В. Поскольку конденсатор подключен параллельно двум резисторам, следовательно, напряжение на конденсаторе будет равно  $\varepsilon = 5$  В.

$$Q = C\varepsilon = 50\text{мкКл}$$

**Ответ:**  $Q = C\varepsilon = 50\text{мкКл}$



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 11 класс

Вариант 2

### Задание 1.

Три концентрические металлические сферы радиусами  $R$ ,  $2R$  и  $3R$  заряжены зарядами  $Q$ ,  $2Q$  и  $-4Q$  соответственно. Сферу радиусом  $R$  заземляют с помощью проводника ничтожно малой ёмкости через малые отверстия в двух других сферах. Какой заряд  $q$  протечет по проводнику в направлении от сферы радиусом  $R$  к земле?

### Решение:

Запишем потенциал сферы радиусом  $R$  после заземления:

$$\varphi_1 = \frac{k \cdot (Q - q)}{R} + \frac{k \cdot 2Q}{2R} + \frac{k \cdot (-4Q)}{3R} = \frac{2kQ - 3kq}{3R},$$

где  $k$  – постоянная Кулона,  $\varphi_1$  – потенциал сферы радиусом  $R$ ,  $q$  – заряд, прошедший по проводнику от сферы радиусом  $R$  к земле.

После заземления потенциал  $\varphi_1$  станет равным нулю:

$$\varphi_1 = \frac{2kQ - 3kq}{3R} = 0,$$

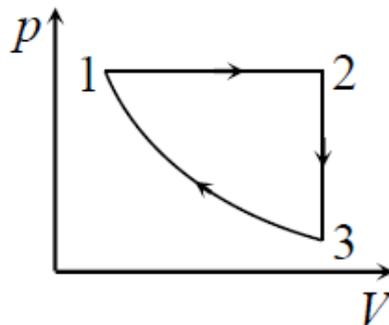
Из этого уравнения найдем заряд  $q$ :

$$q = \frac{2Q}{3}.$$

**Ответ:**  $q = \frac{2Q}{3}$

### Задание 2.

Найти термодинамический КПД цикла 1-2-3-1, изображенного на рисунке ( $p$  – давление газа,  $V$  – его объем, процесс 3-1 – изотермический), если рабочее тело – одноатомный идеальный газ. Известно, что работа газа в изобарном процессе в 1,5 раза больше работы газа в изотермическом процессе.





Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 11 класс

Вариант 2

**Решение:**

Термодинамический КПД циклического процесса можно найти как отношение работы газа за цикл к количеству теплоты, полученному газом от нагревателя также за цикл:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} \cdot 100\%.$$

Найдем работу газа за цикл:

$$A_{1-2-3-1} = A_{1-2} - A_{2-3} - A_{3-1}.$$

Процесс 1-2 – изобарическое расширение идеального одноатомного газа, в этом процессе газ получает количество теплоты  $Q_{1-2}$ , которое согласно первому началу термодинамики равно:

$$\begin{aligned} Q_{1-2} &= \Delta U_{1-2} + A_{1-2}. \\ Q_{1-2} &= \frac{3}{2} A_{1-2} + A_{1-2} = \frac{5}{2} A_{1-2}. \end{aligned}$$

Процесс 2-3 – изохорное охлаждение газа, в этом процессе работа газа  $A_{2-3}$  равна нулю.

По условию работа газа в изотермическом процессе 3-1 равна  $2/3$  от работы газа в изобарном процессе  $A_{1-2}$ , поэтому:

$$A_{3-1} = \frac{2}{3} A_{1-2}.$$

Таким образом, работа идеального одноатомного газа за цикл равна:

$$A_{1-2-3-1} = A_{1-2} - \frac{2}{3} A_{1-2} = \frac{1}{3} A_{1-2}.$$

В данном цикле газ получает тепло только на участке 1-2, а в остальных двух процессах он отдает тепло, поэтому количество теплоты  $Q_H$ , полученное газом в течение цикла от нагревателя, равно:

$$Q_H = \frac{5}{2} A_{1-2}.$$

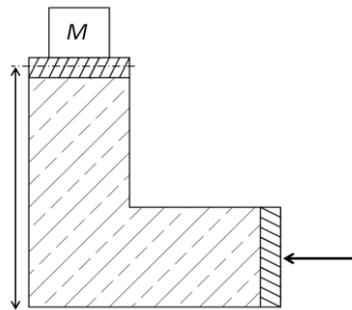
Таким образом, термодинамический КПД данного цикла равен:

$$\eta = \frac{\frac{1}{3} A_{1-2}}{\frac{5}{2} A_{1-2}} \cdot 100\% = \frac{2}{15} \cdot 100\% = 13,3\%.$$

**Ответ:**  $\eta = 13,3\%$

**Задание 3.**

Гидравлическая система, заполненная водой, показанная на рисунке, поднимает груз  $M$  равный 2 кг с высоты 30 см на высоту 50 см. Найти во сколько раз при этом увеличилось давление, оказываемое на нижний поршень, для совершения этого действия. Оба поршня одинаковые имеют радиус 5 см, толщиной и массой поршней пренебречь.



**Решение:**

Поскольку давление жидкости меняется на всём нижнем поршне, но линейно зависит от высоты столба жидкости, возьмём его среднее значение в центре поршня, запишем условие равенства давлений

$$\begin{aligned} \frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_1 - R) = P_1 & \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_2 - R)}{\frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_1 - R)} = 1.7 \\ \frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_2 - R) = P_2 & \end{aligned}$$

**Ответ:**  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_2 - R)}{\frac{Mg}{\pi R^2} + \rho g(x_1 - R)} = 1.7$

**Задание 4.**

Пластины плоского вертикально расположенного конденсатора удерживаются системой пружин общей жёсткостью 5 Н/м на расстоянии 20 см при отсутствующем напряжении на обкладках конденсатора. Найти какое напряжение надо подать на обкладки конденсатора, чтобы расстояние между ними стало равно 5 см. Система пружин находится снаружи конденсатора и не взаимодействует с его электрическим полем. Площадь обкладок 25 см<sup>2</sup>.



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 11 класс

Вариант 2

**Решение:**

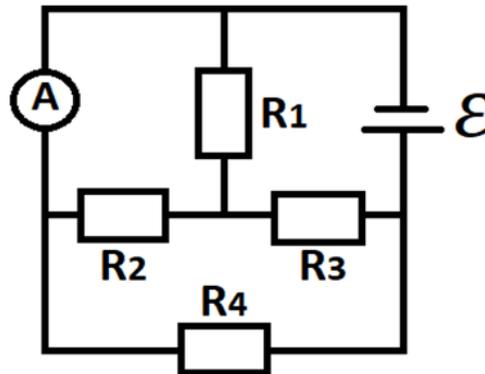
Энергия взаимодействия пластин конденсатора будет равна энергии деформации пружин:

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{k\Delta x^2}{2} \rightarrow \varepsilon_0 S U^2 = dk\Delta x^2 \rightarrow U = \sqrt{\frac{dk\Delta x^2}{\varepsilon_0 S}} = 5 \cdot 10^5 \text{ В.}$$

**Ответ:**  $U = \sqrt{\frac{dk\Delta x^2}{\varepsilon_0 S}} = 5 \cdot 10^5 \text{ В.}$

**Задание 5.**

Найдите показания идеального амперметра в схеме, изображенной на рисунке, если сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 15 \text{ Ом}$ , а ЭДС источника  $\varepsilon = 30 \text{ В}$ .



**Решение:**

Найдем общее сопротивление всей цепи: резисторы  $R_1$  и  $R_2$  соединены параллельно, поэтому:

$$R_{1-2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5 \text{ Ом,}$$

а резистор  $R_3$  соединен с ними последовательно:

$$R_{1-3} = R_{1-2} + R_3 = 5 + 10 = 15 \text{ Ом.}$$

Резистор  $R_4$  подключен параллельно к  $R_{1-3}$ :

$$R_{\text{общ}} = \frac{R_{1-3} \cdot R_4}{R_{1-3} + R_4} = \frac{15 \cdot 15}{15 + 15} = 7,5 \text{ Ом.}$$



Многопрофильная олимпиада

РТУ МИРЭА

2024/2025

Заключительный этап

Физика 11 класс

Вариант 2

Теперь найдем силу тока, текущего через ЭДС (учтем, что сопротивление амперметра мало):

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R_{\text{общ}}} = \frac{30}{7,5} = 4 \text{ А.}$$

Ток  $I_0$  разделяет на равных тока  $I_1$  и  $I_2$  (так как  $R_{1-3}$  и  $R_4$  равны), текущих через резисторы  $R_{1-3}$  и  $R_4$  соответственно:

$$I_0 = I_1 + I_2$$
$$I_1 = I_2 = \frac{I_0}{2} = 2 \text{ А.}$$

Ток  $I_1$  разделяет на равных тока  $I_3$  и  $I_4$ , текущих через резисторы  $R_1$  и  $R_2$  соответственно.

Найдем ток  $I_4$ , текущий через резистор  $R_2$ :

$$I_4 = \frac{I_1}{2} = 1 \text{ А.}$$

Ток  $I_A$ , текущий через идеальный амперметр, складывается из  $I_4$  и  $I_2$ :

$$I_A = I_4 + I_2 = 1 + 2 = 3 \text{ А.}$$

**Ответ:**  $I_A = 3 \text{ А.}$