

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**11 класс**

**Задание 1. Вариант 1. (10 баллов)**

Учитель физики в одной школе решил показать детям опыт. На дифракционную решетку, находящейся на расстоянии  $L = 99$  см от экрана, перпендикулярно поверхности падает свет длиной волны  $\lambda_1$ , и второй дифракционный максимум наблюдается на расстоянии  $y = 13$  см от центра дифракционной картины. Далее учитель заменяет источник света на новый, чтобы свет длиной волны  $\lambda_2$  образовал третий максимум в том же месте, где ранее наблюдался второй максимум для света длиной волны  $\lambda_1$ . Найдите разницу длин волн  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$  (в нм, округляя до десятых), если период решетки равен  $d = 11$  мкм.

**Ответ: 240,7**

**Дано:**

$L = 0.99$ м
$y = 0.13$ м
$d = 11 \cdot 10^{-6}$ м
$\Delta\lambda = ?$ (нм)

**Решение:**

1. Для малых углов отклонения можно использовать приближение  $\sin \alpha \approx \tan \alpha$ . В данном случае:

$$\tan \alpha = \frac{y}{L}$$

Таким образом, для второго дифракционного максимума (где  $k = 2$ ):

$$\sin \alpha \approx \frac{y}{L}$$

2. Длина волны  $\lambda_1$ :

Используем формулу:

$$d \sin \alpha = k\lambda_1$$

Подставляем  $\sin \alpha \approx \frac{y}{L}$ :

$$d \frac{y}{L} = k\lambda_1$$

Таким образом, можем выразить длину волны как:

$$\lambda_1 = \frac{dy}{kL} = \frac{11 \cdot 10^{-6} \cdot 0.13}{2 \cdot 0.99} \approx 7.222 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 722.2 \text{ нм}$$

3. Длина волны  $\lambda_2$ :

Для третьего максимума (где  $k = 3$ ):

$$\lambda_2 = \frac{dy}{kL} = \frac{11 \cdot 10^{-6} \cdot 0.13}{3 \cdot 0.99} \approx 4.815 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 481.5 \text{ нм}$$

4. Разница длин волн  $\Delta\lambda$ :

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = 722.2 - 481.5 = 240.7 \text{ нм}$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**Ответ:**

$$\Delta\lambda = 240.7 \text{ нм}$$

**Задание 1. Вариант 2. (10 баллов)**

Ученик на уроке физики делает занимательную лабораторную работу. На дифракционную решетку, перпендикулярно поверхности падает свет длиной волны  $\lambda_1$ , и второй дифракционный максимум на экране наблюдается на расстоянии  $y = 2.8$  см. Далее ученик заменяет источник света новым, так что свет длиной волны  $\lambda_2$  в результате прохождения решетки образовал третий максимум в том же месте, где ранее наблюдался второй максимум для света длиной волны  $\lambda_1$ . Найдите среднее арифметическое длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  (в нм, округляя до десятых), если разница длин волн  $\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = 198.7$  нм.

**Ответ: 496,8**

**Дано:**

$\Delta\lambda = 198.7 \text{ нм} = 198.7 \cdot 10^{-9} \text{ м}$
$k_1 = 2$
$k_2 = 3$
$\lambda_{\text{ср}} = ? (\text{нм})$

**Решение**

1. Запишем уравнения для максимумов:

Для второго максимума при длине волны  $\lambda_1$ :

$$d \sin \alpha_1 = k_1 \lambda_1 = 2\lambda_1 \quad (1)$$

Для третьего максимума при длине волны  $\lambda_2$ :

$$d \sin \alpha_1 = k_2 \lambda_2 = 3\lambda_2$$

2. Поскольку  $\alpha_1 = \alpha_2$ :

$$\sin \alpha_1 = \sin \alpha_2$$

3. Теперь выразим  $\sin \alpha$  из уравнения (1) и подставим в уравнение (2):

$$\sin \alpha = \frac{2\lambda_1}{d}$$

$$d \left( \frac{2\lambda_1}{d} \right) = 3\lambda_2$$

$$2\lambda_1 = 3\lambda_2$$

$$\lambda_2 = \frac{2}{3}\lambda_1 \quad (3)$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

4. Подставим выражение (3) в разность длин волн:

$$\Delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$$

$$198.7 \cdot 10^{-9} = \lambda_1 - \frac{2}{3}\lambda_1$$

$$\lambda_1 = 3 \cdot 198.7 \cdot 10^{-9} = 596.1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

5. Найдем  $\lambda_2$  из (3):

$$\lambda_2 = \frac{2}{3} \cdot 596.1 \cdot 10^{-9} = 397.4 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

6. Найдем среднее арифметическое длин волн:

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = \frac{596.1 \cdot 10^{-9} + 397.4 \cdot 10^{-9}}{2} = \frac{993.5 \cdot 10^{-9}}{2} = 496.75 \text{ нм}$$

**Ответ**

с учетом округления:

$$\lambda_{\text{ср}} = 496.8 \text{ нм}$$

**Задание 2. Вариант 1. (10 баллов)**

Робот-курьер движется по прямой дороге со скоростью 10 м/с. Для обнаружения препятствий перед собой он использует ультразвуковой дальномер, который способен фиксировать препятствия на любом расстоянии. Когда дальномер обнаруживает препятствие, робот начинает торможение с максимальным ускорением, равным 5 м/с<sup>2</sup>. Однако робот начинает тормозить только после того, как получает первый отражённый сигнал от препятствия. В начальный момент времени  $T_0$  перед роботом на расстоянии 50 метров внезапно появляется препятствие. Скорость звука в воздухе принять равной 340 м/с. Требуется определить, на каком расстоянии от препятствия остановится робот после получения сигнала и начала торможения. Ответ запишите в метрах, округлив до целого.

**Ответ: 37**

**Дано:**

$d = 50 \text{ м}$
$c = 340 \text{ м/с}$
$v = 10 \text{ м/с}$
$a = 5 \text{ м/с}^2$
$d_{\text{остановка}} = ? \text{ (м)}$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**Решение:**

1. Время, необходимое для получения сигнала от препятствия

Робот начинает торможение только после того, как получает сигнал от препятствия. Для этого сигнал должен дойти до препятствия и вернуться обратно.

Время для прохождения ультразвукового сигнала туда и обратно равно:

$$t_{\text{звук}} = \frac{2 \cdot d}{c},$$

где  $d = 50$  м,  $c = 340$  м/с.

Подставим значения:

$$t_{\text{звук}} = \frac{2 \cdot 50}{340} \approx 0.294 \text{ с.}$$

2. Расстояние, которое робот проходит за время до получения сигнала

Пока робот ожидает сигнала, он продолжает двигаться с постоянной скоростью  $v = 10$  м/с. За время  $t_{\text{звук}}$  робот пройдет расстояние:

$$d_{\text{пройден}} = v \cdot t_{\text{звук}} = 10 \text{ м/с} \cdot 0.294 \text{ с} \approx 2.94 \text{ м.}$$

После этого расстояние до препятствия уменьшится:

$$d_{\text{новое}} = 50 \text{ м} - 2.94 \text{ м} \approx 47.06 \text{ м.}$$

3. Остановка робота

Теперь робот начинает тормозить. Чтобы рассчитать, на каком расстоянии от препятствия робот остановится, используем формулу для тормозного пути:

$$v^2 = 2 \cdot |a| \cdot d_{\text{торможение}}.$$

Подставим известные значения:

$$(10)^2 = 2 \cdot 5 \cdot d_{\text{торможение}}.$$

Упростим:

$$100 = 10 \cdot d_{\text{торможение}},$$
$$d_{\text{торможение}} = \frac{100}{10} = 10 \text{ м.}$$

4. Полное расстояние до препятствия

Полное расстояние, пройденное роботом с момента появления препятствия до полной остановки, будет равно:

$$d_{\text{общ}} = d_{\text{пройден}} + d_{\text{торможение}} = 2.94 \text{ м} + 10 \text{ м} \approx 12.94 \text{ м.}$$

Теперь рассчитаем, на каком расстоянии от препятствия робот остановится:

$$d_{\text{остановка}} = 50 \text{ м} - 12.94 \text{ м} \approx 37.06 \text{ м.}$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**Ответ:**

$$d_{\text{остановка}} = 37\text{ м.}$$

**Задание 2. Вариант 2. (10 баллов)**

Космический зонд движется по прямой в открытом космосе со скоростью 15 км/с. Он использует радиолокационную систему для обнаружения астероидов на своём пути. Радиолокационная система зонда может обнаружить препятствия на любом расстоянии. Как только радиолокационная система фиксирует астероид, зонд начинает торможение. Однако торможение начинается только после того, как зонд получает отражённый сигнал от астероида. В начальный момент времени  $T_0$  на расстоянии 800 км от зонда появляется астероид. Скорость распространения радиоволн принять равной 300 000 км/с. Какое ускорение должно развить тормозная система зонда, чтобы остановить его на расстоянии 600 км от астероида после получения сигнала и начала торможения? Ответ выразить в  $\text{м/с}^2$ , округлив до целого.

**Ответ: 563**

**Дано:**

$d_0 = 800 \text{ км}$
$c = 300000 \text{ км/с}$
$v = 15 \text{ км/с}$
$d_{\text{ост}} = 600 \text{ км}$
$a = ? (\text{м/с}^2)$

**Решение:**

**1. Время получения сигнала от астероида**

Зонд начинает торможение только после получения сигнала от астероида. Для этого радиоволна должна пройти расстояние туда и обратно. Время прохождения сигнала:

$$t_{\text{сигнала}} = \frac{2 \cdot d_0}{c}.$$

Подставим значения:

$$t_{\text{сигнала}} = \frac{2 \cdot 800 \text{ км}}{300000 \text{ км/с}} \approx 0.00533 \text{ с.}$$

**2. Расстояние, пройденное зондом за время до получения сигнала**

Пока зонд ждёт получения отражённого сигнала, он продолжает двигаться с постоянной скоростью  $v = 15 \text{ км/с}$ . Расстояние, которое зонд проходит за это время:

$$d_{\text{пройден}} = v \cdot t_{\text{сигнала}} = 15 \text{ км/с} \cdot 0.00533 \text{ с} \approx 0.07995 \text{ км.}$$

После этого расстояние до астероида уменьшится:

$$d_{\text{новое}} = d_0 - d_{\text{пройден}} = 800 \text{ км} - 0.07995 \text{ км} \approx 799.92 \text{ км.}$$

**3. Расстояние торможения**

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

Теперь зонд начинает торможение. Он должен остановиться на расстоянии  $d_{\text{ост}} = 600$  км от астероида. Это значит, что за время торможения зонд пройдёт:

$$d_{\text{торможение}} = d_{\text{новое}} - d_{\text{ост}} = 799.92 \text{ км} - 600 \text{ км} \approx 199.92 \text{ км}.$$

#### 4. Нахождение ускорения

Используем формулу для тормозного пути при постоянном ускорении:

$$v^2 = 2 \cdot |a| \cdot d_{\text{торможение}}.$$

Подставим известные значения:

$$(15)^2 = 2 \cdot a \cdot 199.92.$$

Упростим:

$$225 = 399.84 \cdot a,$$
$$a = \frac{225}{399.84} \approx 0.563 \text{ км/с}^2 = 563 \text{ м/с}^2.$$

**Ответ:**

$$a = 563 \text{ м/с}^2$$

### Задание 3. Вариант 1. (15 баллов)

Известно, что при облучении пучком фотонов электроны могут покидать изолированную металлическую поверхность. Юный физик решил это проверить: он взял металлический шар радиуса  $R = 1$  м и начал светить на него мощным фонариком, вследствие чего из шара стали вылетать электроны, максимальная скорость которых  $v = 1.9 \cdot 10^6$  м/с. Определите, до какого заряда  $q$  юный физик сможет зарядить шар. Принять отношение заряда электрона к его массе  $-e/m = 1.8 \cdot 10^{11}$  Кл/кг, постоянную в законе Кулона  $k = 9 \cdot 10^9$  м/Ф. Ответ записать в нКл и округлить до сотых, использовать разделитель в виде запятой.

**Ответ: 1.11**

**Дано:**

$R = 1 \text{ м}$
$v = 1.9 \cdot 10^6 \text{ м/с}$
$-e/m = 1.8 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
$k = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$
$q - ? \text{ (нКл)}$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**Решение:**

1. Определение энергии электронов

Энергия, с которой электроны вылетают, равна их кинетической энергии:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Массу электрона можно выразить через его заряд, используя соотношение:

$$m = \frac{e}{1.8 \cdot 10^{11}}.$$

Подставим это в выражение для кинетической энергии:

$$E_k = \frac{e}{1.8 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{v^2}{2}.$$

2. Определение потенциала шара

Потенциал заряженного шара радиусом  $R$  определяется формулой:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R}.$$

Для вылета электронов требуется, чтобы их кинетическая энергия равнялась энергии, необходимой для преодоления потенциала шара:

$$eV = E_k.$$

Подставляем выражение для потенциала:

$$e \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R} = \frac{ev^2}{2 \cdot 1.8 \cdot 10^{11}}.$$

3. Решение для заряда  $q$

Сокращаем на  $e$  и решаем относительно  $q$ :

$$q = \frac{4\pi\epsilon_0 R^2 v^2}{2 \cdot 1.8 \cdot 10^{11}}.$$

Подставляя значения, получаем:

$$q = \frac{4 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 1 \cdot (1.9 \cdot 10^6)^2}{2 \cdot 1.8 \cdot 10^{11}} = 1.11 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 1.11 \text{ нКл}.$$

**Ответ:**

$$q = 1.11 \text{ нКл}$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**Задание 3. Вариант 2. (15 баллов)**

Известно, что при облучении пучком фотонов электроны могут покидать изолированную металлическую поверхность. Юный физик решил это проверить: он взял металлический шар радиуса  $R = 5$  м и начал светить на него мощным фонариком, в результате чего из шара стали вылетать электроны, максимальная скорость которых  $v = 1.9 \cdot 10^6$  м/с. Определите, до какого заряда  $q$  юный физик сможет зарядить шар. Принять отношение заряда электрона к его массе  $-e/m = 1.8 \cdot 10^{11}$  Кл/кг, постоянную в законе Кулона  $k = 9 \cdot 10^9$  м/Ф. Ответ запишите в нКл и округлите до сотых, используя разделитель в виде запятой.

**Ответ: 5.57**

**Дано:**

$R = 5$ м
$v = 1.9 \cdot 10^6$ м/с
$-e/m = 1.8 \cdot 10^{11}$ Кл/кг
$k = 9 \cdot 10^9$ м/Ф.
$q = ?$ (нКл)

**Решение**

1. Найдём кинетическую энергию электронов: Кинетическая энергия  $E_k$  при вылете равна:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

2. Определим потенциал шара: Потенциал  $V$  заряженного шара радиусом  $R$  можно найти по формуле:

$$V = \frac{kq}{R}$$

Для того чтобы электрон покинул поверхность шара, его кинетическая энергия должна быть БОЛЬШЕ ИЛИ равна энергии электрона В ПОЛЕ заряженного шара:

$$eV \geq E_k$$

3. Теперь мы можем выразить заряд  $q$  в зависимости от кинетической энергии и потенциала шара. Уравнение из шага 2 можно записать как:

$$eV = E_k$$

Подставляя выражение для потенциала  $V$  в это уравнение, получаем:

$$e \cdot \frac{kq}{R} = \frac{mv^2}{2}$$

Упрощая это уравнение и выражая заряд  $q$ , получаем:

$$q = \frac{mv^2 R}{2k}$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

4. Подставляем численные значения:

$$q = \frac{(9 \cdot 10^{-31}) \cdot (1.9 \cdot 10^6)^2 \cdot 5}{2 \cdot 9 \cdot 10^9} \approx 5.57 \text{ нКл}$$

**Ответ:** 5.57 нКл

**Задание 4. Вариант 1. (10 баллов)**

Изначально лед массой  $m = 3 \text{ кг}$ , находящийся при температуре  $t_1 = -15^\circ\text{C}$ , помещается в сосуд. В процессе подведения количества теплоты  $Q = 5000 \text{ кДж}$  происходит нагревание и плавление льда, нагревание и частичное испарение получившейся воды. При этом во внешнюю среду выделяется энергия  $300 \text{ кДж}$ . Определите, какая часть массы льда испарится (представьте в виде десятичной дроби, округлите до сотых), если известны: удельная теплоемкость льда  $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 334 \text{ кДж}/\text{кг}$ , удельная теплоемкость воды  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплота парообразования воды  $r = 2256 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

**Ответ:** 0.35

**Дано:**

$m = 3 \text{ кг}$
$t_1 = -15^\circ\text{C}$
$Q = 5000 \text{ кДж}$
$Q_{\text{внеш}} = 300 \text{ кДж}$
$c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
$\lambda = 334 \text{ кДж}/\text{кг}$
$c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
$r = 2256 \text{ кДж}/\text{кг}$
$\frac{m_{\text{исп}}}{m} = ?$

**Решение:**

1. Используя первый закон термодинамики, можно записать:

$$Q = \Delta U + A$$

Где:

$$A = Q_{\text{внеш}}$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= Q_{\text{нагрев льда}} + Q_{\text{плавление}} + Q_{\text{нагрев воды}} + Q_{\text{испарение}} = \\ &= Q - A = Q - Q_{\text{внеш}} = 5000 - 300 = 4700 \text{ кДж} \end{aligned}$$

2. Найдем количество теплоты, необходимое для нагрева льда до  $0^\circ\text{C}$ :

$$Q_{\text{нагрев льда}} = m \cdot c_{\text{л}} \cdot \Delta t = m \cdot c_{\text{л}} \cdot (0 - t_1) = 3 \cdot 2100 \cdot (0 - (-15)) = 94500 \text{ Дж} = 94.5 \text{ кДж}$$

Найдем количество теплоты, необходимое для плавления льда:

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

$$Q_{\text{плавление}} = m \cdot \lambda = 3 \cdot 334 = 1002 \text{ кДж}$$

Вычислим количество теплоты, необходимое для нагрева воды до  $100^\circ\text{C}$ :

$$Q_{\text{нагрев воды}} = m \cdot c_{\text{в}} \cdot \Delta t = m \cdot c_{\text{в}} \cdot (100 - 0) = 3 \cdot 4200 \cdot 100 = 1260000 \text{ Дж} = 1260 \text{ кДж}$$

Найдем количество теплоты, необходимое для испарения воды массой  $m_{\text{исп}}$  по формуле:

$$Q_{\text{испарение}} = r \cdot m_{\text{исп}}$$

откуда

$$m_{\text{исп}} = \frac{Q_{\text{испарение}}}{r}$$

3. Теперь подставим все найденные значения в уравнение для изменения внутренней энергии:

$$\begin{aligned} \Delta U &= Q_{\text{нагрев льда}} + Q_{\text{плавление}} + Q_{\text{нагрев воды}} + Q_{\text{испарение}} \\ Q_{\text{испарение}} &= \Delta U - Q_{\text{нагрев льда}} - Q_{\text{плавление}} - Q_{\text{нагрев воды}} = \\ &= 4700 - 94.5 - 1002 - 1260 = 2343.5 \text{ кДж} \end{aligned}$$

Таким образом, часть массы льда, которая испарится:

$$\frac{m_{\text{исп}}}{m} = \frac{Q_{\text{испарение}}}{r} = \frac{2343.5}{3 \cdot 2256} \approx 0.35$$

**Ответ:**

$$\frac{m_{\text{исп}}}{m} = 0.35$$

**Задание 4. Вариант 2. (10 баллов)**

Лед массой  $m = 3 \text{ кг}$  помещается в сосуд. В процессе подведения количества теплоты  $Q = 3307.7 \text{ кДж}$  происходит нагревание и плавление льда, нагревание и частичное испарение получившейся воды. При этом во внешнюю среду выделяется энергия  $Q_{\text{внеш}} = 270 \text{ кДж}$ . Известно, что испарилась  $\frac{1}{10}$  часть воды. Определите, какая была начальная температура льда (в  $^\circ\text{C}$ , округлив до десятых), если известны: удельная теплоемкость льда  $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплота плавления льда  $\lambda = 334 \text{ кДж}/\text{кг}$ , удельная теплоемкость воды  $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , удельная теплота парообразования воды  $r = 2256 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**Ответ: -15.7**

**Дано:**

$m = 3 \text{ кг}$
$Q = 3307.7 \text{ кДж}$
$Q_{\text{внеш}} = 270 \text{ кДж}$
$c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$
$\lambda = 334 \text{ кДж/кг}$
$c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$
$r = 2256 \text{ кДж/кг}$
$t_1 = ?$

**Решение:**

1. Используя первый закон термодинамики, можно записать:

$$Q = \Delta U + A$$

Где:

$$A = Q_{\text{внеш}}$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= Q_{\text{нагрев льда}} + Q_{\text{плавление}} + Q_{\text{нагрев воды}} + Q_{\text{испарение}} = \\ &= Q - A = 3307.7 - 270 = 3037.7 \text{ кДж} \end{aligned}$$

2. Найдем количество теплоты, необходимое для плавления льда:

$$Q_{\text{плавление}} = m \cdot \lambda = 3 \cdot 334 = 1002 \text{ кДж}$$

Количество теплоты, необходимое для нагрева получившейся воды до  $100^\circ\text{C}$ :

$$Q_{\text{нагрев воды}} = m \cdot c_{\text{в}} \cdot \Delta t = m \cdot c_{\text{в}} \cdot (100 - 0) = 3 \cdot 4200 \cdot 100 = 1260000 \text{ Дж} = 1260 \text{ кДж}$$

4. Найдем количество теплоты, необходимое для испарения  $\frac{1}{4}$  массы воды:

$$Q_{\text{испарение}} = r \cdot m_{\text{исп}} = r \cdot (0.1 \cdot m) = 2256 \cdot (0.1 \cdot 3) = 676.8 \text{ кДж}$$

5. Подставим все найденные значения в уравнение для изменения внутренней энергии:

$$\begin{aligned} \Delta U &= Q_{\text{нагрев льда}} + Q_{\text{плавление}} + Q_{\text{нагрев воды}} + Q_{\text{испарение}} \\ Q_{\text{нагрев льда}} &= \Delta U - Q_{\text{плавление}} - Q_{\text{нагрев воды}} - Q_{\text{испарение}} = \\ &= 3037.7 - 1002 - 1260 - 676.8 = 98.9 \text{ кДж} = 98900 \text{ Дж} \end{aligned}$$

Определим начальную температуру льда  $t_1$ :

$$Q_{\text{нагрев льда}} = m \cdot c_{\text{л}} \cdot \Delta t = m \cdot c_{\text{л}} \cdot (0 - t_1) = -m \cdot c_{\text{л}} \cdot t_1$$

откуда

$$t_1 = -\frac{Q_{\text{нагрев льда}}}{m \cdot c_{\text{л}}} = -\frac{98900}{3 \cdot 2100} \approx -15.69^\circ\text{C}$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

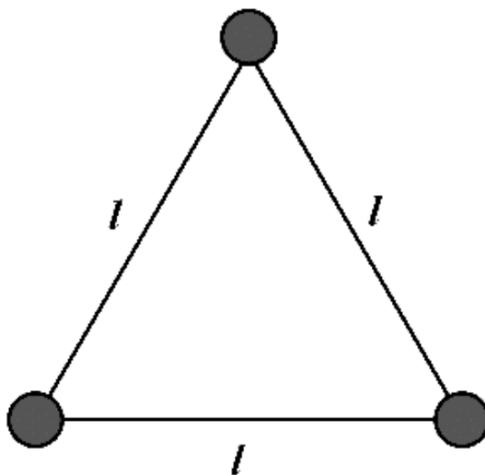
**Ответ:**

с учетом округления

$$t_1 = -15.7^\circ\text{C}$$

**Задание 5. Вариант 1. (25 баллов, 1-2 вопросы по 10 баллов, 3 вопрос 5 баллов)**

Три маленьких одинаковых шарика, каждый массой 0.3 г и зарядом 1 мкКл, расположены на гладкой горизонтальной поверхности, как показано на рисунке. Шарики связаны друг с другом тремя нерастяжимыми, невесомыми и непроводящими нитями, каждая длиной 15 см. Все три нити одновременно пережигают. Принять постоянную в законе Кулона  $k = 9 \cdot 10^9$  м/Ф.



**Вопросы:**

1. Найти величину кулоновской силы, действующей на каждый из шариков. Ответ выразить в мН, округлить до целого.
2. Найти скорость движения шариков после пережигания нитей после разлёта на большие расстояния друг от друга. Ответ выразить в м/с, округлить до целого.
3. Найти импульс шариков после пережигания нитей после разлёта на большие расстояния друг от друга. Ответ выразить в кг · м/с, округлить до тысячных.

**Ответы:**

1. 692 мН
2. 20 м/с
3. 0.006 кг · м/с

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**Дано:**

$q = 1 \text{ мкКл} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$
$l = 15 \text{ см} = 0.15 \text{ м}$
$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$
$m = 0.3 \text{ г} = 0.0003 \text{ кг}$
$F_{\text{рез}} = ?$
$v = ?$
$p = ?$

**Решение**

1. Найдём величину кулоновской силы, действующей на каждый из шариков.

Все три шарика имеют одинаковый заряд  $q = 1 \text{ мкКл} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$  и расположены на расстоянии  $l = 15 \text{ см} = 0.15 \text{ м}$  друг от друга, образуя равносторонний треугольник. Кулоновская сила между двумя заряженными телами вычисляется по формуле:

$$F = \frac{kq^2}{l^2},$$

где  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$ ,  $q = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$ ,  $l = 0.15 \text{ м}$ .

Подставляем значения:

$$F = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (1 \cdot 10^{-6})^2}{(0.15)^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-12}}{0.0225} = 400 \text{ мН.}$$

Равнодействующая сил, действующих на шарик:

$$F_{\text{рез}} = 2 \cdot F \cdot \cos(30^\circ) = 2 \cdot 400 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 400\sqrt{3} \approx 692 \text{ мН.}$$

2. Найдём скорость движения шариков после разлёта.

Используем закон сохранения энергии. Потенциальная энергия системы зарядов:

$$E_{\text{пот}} = 3 \cdot \frac{kq^2}{l}.$$

Эта энергия переходит в кинетическую энергию каждого шарика:

$$3 \cdot \frac{kq^2}{l} = 3 \cdot \frac{mv^2}{2}.$$

Решаем относительно скорости  $v$ :

$$v = \sqrt{\frac{2kq^2}{ml}}.$$

Подставляем значения:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (1 \cdot 10^{-6})^2}{0.0003 \cdot 0.15}} = \sqrt{\frac{18 \cdot 10^{-3}}{4.5 \cdot 10^{-5}}} = \sqrt{400} = 20 \text{ м/с.}$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

3. Найдём импульс каждого шарика.

Импульс  $p$  определяется как:

$$p = mv.$$

Подставляем значения:

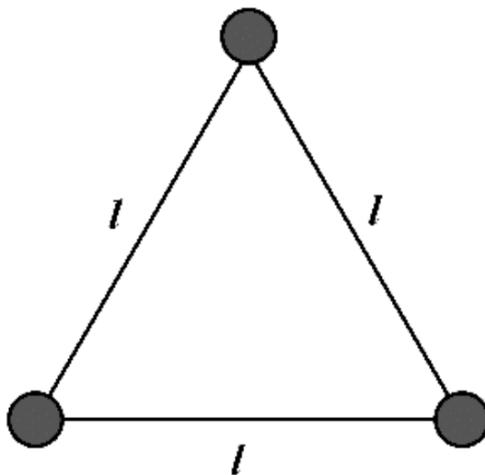
$$p = 0.0003 \text{ кг} \cdot 20 \text{ м/с} = 0.006 \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$$

**Ответы:**

1. Кулоновская сила:  $F_{\text{рез}} \approx 692 \text{ мН}$ ,
2. Скорость:  $v = 20 \text{ м/с}$ ,
3. Импульс:  $p = 0.006 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ .

**Задание 5. Вариант 2. (25 баллов, 1-2 вопросы по 10 баллов, 3 вопрос 5 баллов)**

Три маленьких одинаковых шарика, каждый массой  $0.7 \text{ г}$  и зарядом  $2 \text{ мкКл}$ , расположены на гладкой горизонтальной поверхности. Шарики связаны друг с другом тремя нерастяжимыми, невесомыми и непроводящими нитями, каждая длиной  $17 \text{ см}$ . Все три нити одновременно пережигают. Принять постоянную в законе Кулона  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ м/Ф}$ .



**Вопросы:**

1. Найти величину кулоновской силы, действующей на каждый из шариков. Ответ выразить в мН, округлить до целого.
2. Найти скорость движения шариков после пережигания нитей после разлёта на большие расстояния друг от друга. Ответ выразить в м/с, округлить до целого.
3. Найти импульс шариков после пережигания нитей после разлёта на большие расстояния друг от друга. Ответ выразить в  $\text{кг} \cdot \text{м/с}$ , округлить до тысячных.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

**Ответы:**

1. 2159 мН
2. 25 м/с
3. 0.018 кг · м/с

**Дано:**

$q = 2 \text{ мкКл} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$
$l = 17 \text{ см} = 0.17 \text{ м}$
$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$
$m = 0.7 \text{ г} = 0.0007 \text{ кг}$
$F_{\text{рез}} = ?$
$v = ?$
$p = ?$

**Решение**

1. Найдём величину кулоновской силы, действующей на каждый из шариков. Кулоновская сила между двумя заряженными телами вычисляется по формуле:

$$F = \frac{kq^2}{l^2}.$$

Подставляем значения:

$$F = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (2 \cdot 10^{-6})^2}{(0,17)^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-12}}{0,0289} = \frac{36 \cdot 10^{-3}}{0,0289} \approx 1246 \text{ мН}.$$

Равнодействующая сил:

$$F_{\text{рез}} = 2 \cdot F \cdot \cos(30^\circ) = 2 \cdot 1246 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 1246\sqrt{3} \approx 2159 \text{ мН}.$$

2. Найдём скорость движения шариков после разлёта. Используем закон сохранения энергии. Потенциальная энергия системы зарядов:

$$E_{\text{пот}} = 3 \cdot \frac{kq^2}{l}.$$

Эта энергия переходит в кинетическую энергию каждого шарика:

$$3 \cdot \frac{kq^2}{l} = 3 \cdot \frac{mv^2}{2}.$$

Решаем относительно скорости  $v$ :

$$v = \sqrt{\frac{2kq^2}{ml}}.$$

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

Подставляем значения:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (2 \cdot 10^{-6})^2}{0,0003 \cdot 0,17}} = \sqrt{\frac{72 \cdot 10^{-3}}{0,000119}} \approx \sqrt{605} \approx 24,6 \text{ м/с.}$$

3. Найдём импульс каждого шарика. Импульс  $p$  определяется как:

$$p = mv.$$

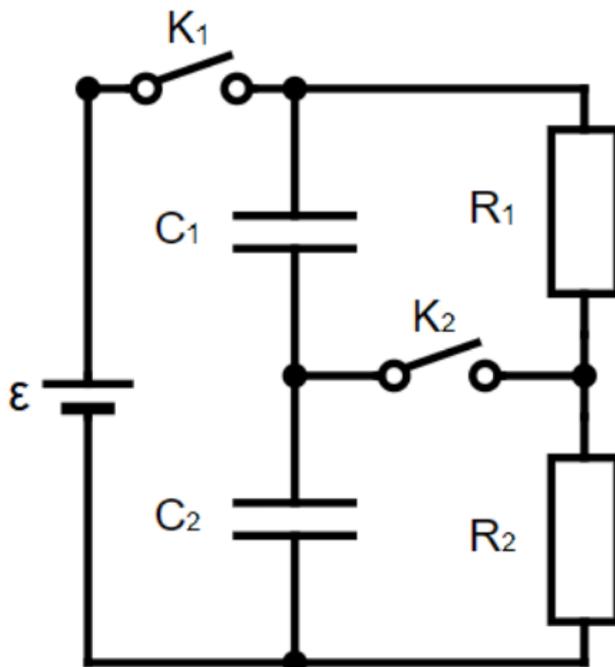
Подставляем значения:

$$p = 0,0007 \text{ кг} \cdot 24,6 \text{ м/с} = 0,0175 \text{ кг} \cdot \text{м/с.}$$

**Ответы:**

1. Кулоновская сила: 2159 мН,
2. Скорость: 25 м/с,
3. Импульс: 0,018 кг · м/с.

**Задание 6. Вариант 1. (30 баллов, каждый вопрос 10 баллов)**



**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

На рисунке представлена схема электрической цепи, которая состоит из двух конденсаторов и двух резисторов. Вначале замыкают ключ  $K_1$ , и через некоторое время система приходит в состояние равновесия. Затем, спустя длительное время, замыкают ключ  $K_2$ . Сопротивление резисторов  $R_1 = 100$  Ом и  $R_2 = 200$  Ом; емкость конденсаторов  $C_1 = 1$  мФ и  $C_2 = 2 \cdot C_1$ ; ЭДС источника  $\varepsilon = 220$  В.

Определите:

1. Заряд на нижней пластине конденсатора  $C_1$  после замыкания ключа  $K_2$ . Если заряд отрицательный, в ответе должен быть указан знак (например,  $-0,777$ ).
2. Заряд на верхней пластине конденсатора  $C_2$  после замыкания ключа  $K_2$ . Если заряд отрицательный, в ответе должен быть указан знак (например,  $-0,777$ ).
3. Абсолютную величину заряда, который пройдет через ключ  $K_2$  после его замыкания. Ответы следует выразить в кулонах, округлив до третьего знака после запятой. Если заряд отрицательный, в ответе должен быть указан знак (например,  $-0,777$ ).

**Ответ:**

1.  $-0,073$  Кл или  $-0,07$  Кл
2.  $0,293$  Кл или  $0,29$  Кл
3.  $0,220$  Кл или  $0,22$  Кл

**Дано:**

$R_1 = 100$ Ом
$R_2 = 200$ Ом
$C_1 = 1$ мФ = $1 \cdot 10^{-3}$ Ф
$C_2 = 2 \cdot C_1$
$\varepsilon = 220$ В
$q_1 = ?$
$q_2 = ?$
$\Delta q = ?$

**Решение**

**Шаг 1: Заряд на нижней пластине конденсатора  $C_1$  после замыкания ключа  $K_2$**

После замыкания ключа  $K_2$  заряды перераспределяются. Для расчета заряда на нижней пластине конденсатора  $C_1$  используется формула:

$$q_1 = -C_1 U_1$$

Чтобы найти  $U_1$ , воспользуемся законом Ома для участка цепи, в котором находятся  $R_1$  и  $R_2$ :

$$U_1 = \frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R_2}$$

Где:  $U_1$  — напряжение на конденсаторе  $C_1$ .

Подставив значение  $U_1$  в формулу для  $q_1$ , получаем:

$$q_1 = -C_1 \left( \frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R_2} \right) = -0.001 \cdot 220 \cdot \frac{100}{300} = -0.073 \text{ Кл.}$$

**Шаг 2: Заряд на верхней пластине конденсатора  $C_2$  после замыкания ключа  $K_2$**

Найдем заряд, который пройдет через ключ  $K_2$ , как сумму зарядов  $q_1$  и  $q_2$ . Для расчета заряда на верхней пластине конденсатора  $C_2$ :

$$q_2 = C_2 U_2$$

Для нахождения  $U_2$  используем аналогичное соотношение:

$$U_2 = \frac{\varepsilon R_2}{R_1 + R_2}$$

Где:  $U_2$  — напряжение на конденсаторе  $C_2$ .

Подставив значение  $U_2$  в формулу для  $q_2$ , получаем:

$$q_2 = 0.002 \cdot 220 \cdot \frac{200}{300} = 0.293 \text{ Кл.}$$

**Шаг 3: Заряд, проходящий через ключ  $K_2$**

Найдем заряд, который пройдет через ключ  $K_2$ , как сумму зарядов  $q_1$  и  $q_2$ :

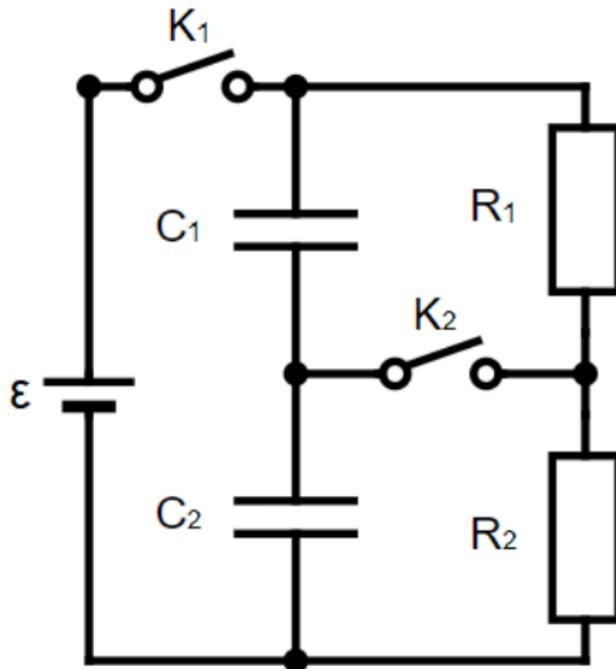
$$\Delta q = \varepsilon \cdot \frac{C_2 R_2 - C_1 R_1}{R_1 + R_2}$$

Это заряд, который определяется перераспределением зарядов между ними после замыкания ключа.

Подставив значения, получаем:

$$\Delta q = 220 \cdot \frac{0.002 \cdot 200 - 0.001 \cdot 100}{100 + 200} = 0.220 \text{ Кл.}$$

Задание 6. Вариант 2. (30 баллов, каждый вопрос 10 баллов)



В цепи, схема которой показана на рисунке, сначала замыкается переключатель  $K_1$ , а затем после длительного времени замыкается переключатель  $K_2$ . Даны следующие параметры элементов: сопротивления резисторов  $R_1 = 350$  Ом и  $R_2 = 150$  Ом, емкости двух конденсаторов  $C_2 = 100$  мкФ и  $C_1 = 3 \cdot C_2$ , ЭДС источника 220 В.

Рассчитайте:

1. Заряд на нижней пластине конденсатора  $C_1$  после замыкания переключателя  $K_2$ . Ответ дать в кулонах, округлить до трёх знаков после запятой. Если заряд отрицательный, в ответе должен быть указан знак (например, -0,777).
2. Заряд на верхней пластине конденсатора  $C_2$  после замыкания переключателя  $K_2$ . Ответ дать в кулонах, округлить до трёх знаков после запятой. Если заряд отрицательный, в ответе должен быть указан знак (например, -0,777).
3. Абсолютную величину заряда, который пройдет через переключатель  $K_2$  после его замыкания. Ответ дать в кулонах, округлить до двух знаков после запятой.

Ответ:

1. -0,046 Кл

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ  
ФИЗИКА. ОТБОРОЧНЫЙ ЭТАП  
2024-2025 ГОД**

---

2. 0,007 Кл

3. 0,04 Кл

**Дано:**

$R_1 = 350 \text{ Ом}$
$R_2 = 150 \text{ Ом}$
$C_2 = 100 \text{ мкФ} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$
$C_1 = 3 \cdot C_2$
$\varepsilon = 220 \text{ В}$
$q_1 = ?$
$q_2 = ?$
$\Delta q = ?$

**Решение**

**Шаг 1: Заряд на нижней пластине конденсатора  $C_1$  после замыкания переключателя  $K_2$**

После замыкания переключателя  $K_2$  заряды перераспределяются. Для расчета заряда на нижней пластине конденсатора  $C_1$  используется формула:

$$q_1 = -C_1 U_1$$

Чтобы найти  $U_1$ , воспользуемся законом Ома для участка цепи, содержащего резисторы  $R_1$  и  $R_2$ :

$$U_1 = \frac{\varepsilon R_1}{R_1 + R_2}$$

Где:

- $\varepsilon$  — ЭДС источника, равная 220 В,
- $U_1$  — напряжение на конденсаторе  $C_1$ .

Подставляем значения:

$$U_1 = \frac{220 \cdot 350}{350 + 150} = \frac{77000}{500} = 154 \text{ В.}$$

Теперь подставим значение  $U_1$  в формулу для  $q_1$ . Сначала найдем  $C_1$ :

$$C_1 = 3 \cdot C_2 = 3 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ Ф.}$$

Теперь можем найти заряд:

$$q_1 = -C_1 U_1 = -300 \cdot 10^{-6} \cdot 154 = -0.0462 \text{ Кл.}$$

Округляя до трех знаков, получаем:

$$q_1 \approx -0.046 \text{ Кл.}$$

**Шаг 2: Заряд на верхней пластине конденсатора  $C_2$  после замыкания переключателя  $K_2$**

Теперь найдем заряд на верхней пластине конденсатора  $C_2$ :

$$q_2 = C_2 U_2$$

Где  $U_2$  определяется аналогично:

$$U_2 = \frac{\varepsilon R_2}{R_1 + R_2}$$

Подставляем значения:

$$U_2 = \frac{220 \cdot 150}{350 + 150} = \frac{33000}{500} = 66 \text{ В.}$$

Теперь подставим значение  $U_2$  в формулу для  $q_2$ :

$$q_2 = C_2 U_2 = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 66 = 0.0066 \text{ Кл.}$$

Округляя до трех знаков, получаем:

$$q_2 \approx 0.007 \text{ Кл.}$$

**Шаг 3: Заряд, проходящий через переключатель  $K_2$**

Найдем заряд, который пройдет через переключатель  $K_2$ :

$$\Delta q = q_1 + q_2$$

Подставим значения:

$$\Delta q = -0.046 + 0.0066 = -0.0394 \text{ Кл.}$$

Округляя до двух знаков, получаем абсолютное значение:

$$\Delta q \approx 0.04 \text{ Кл.}$$