Олимпиада школьников «Курчатов» по физике – 2026

Отборочный этап. 8 класс

Задача 1 / 1. В бутылку объёмом $V = 2$ л засыпали ледяные градины массы $m_л = 1{,}0$ кг. Оставшееся свободное место в бутылке заполнили водой до самого края. Начальная температура воды равна $t_0 = 97°$C, после полного таяния града температура содержимого бутылки стала равна $t = 3°$C. Теплообменом с окружающей средой пренебречь. Найдите начальную температуру t_1 ледяных градин. Ответ дайте в градусах Цельсия с точностью до целого числа.

Удельная теплоёмкость воды $c_в = 4200$ Дж/(кг $\cdot°$ C); удельная теплоёмкость льда $c_л = 2100$ Дж/(кг $\cdot°$ C); удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг; плотность льда $\rho_л = 900$ кг/м^3; плотность воды $\rho_в = 1000$ кг/м^3.

Возможное решение

Объём бутылки равен V, объём льда массой $m_л$:

$$V_л = \frac{m_л}{\rho_л}.$$

Тогда объём долитой воды

$$V_в = V - V_л = V - \frac{m_л}{\rho_л},$$

а её масса

$$m_в = \rho_в V_в = \rho_в\left(V - \frac{m_л}{\rho_л}\right).$$

Горячая вода остыла от температуры t_0 до t, отдав при этом колчество теплоты

$$Q_{отд} = c_в\, m_в\,(t_0 - t).$$

Лёд, имея начальную температуру $t_1 < 0°$C, сначала нагрелся до температуры $0°$C, затем расплавился и полученная вода нагрелась до температуры t:

$$Q_{пол} = c_л m_л(0°\text{C} - t_1) + \lambda m_л + c_в m_л(t - 0°\text{C}).$$

По условию теплопотерь нет, значит $Q_{отд} = Q_{пол}$. Уравнение теплового баланса с учетом полученных выражений:

$$c_в\, m_в\,(t_0 - t) = -c_л m_л t_1 + \lambda m_л + c_в m_л t.$$

Отсюда

$$t_1 = \frac{\lambda m_л + c_в m_л t - c_в\, m_в\,(t_0 - t)}{c_л m_л} \approx -4°\text{C}.$$

Ответ: $t_1 \approx -4° C$.

Задача 1 / 2. В бутылку объёмом $V = 1{,}5$ л засыпали ледяные градины массы $m_л = 0{,}7$ кг. Оставшееся свободное место в бутылке заполнили водой до самого края. Начальная температура воды равна $t_0 = 83°$C, после полного таяния града температура содержимого бутылки стала равна $t = 2°$C. Теплообменом с окружающей средой пренебречь. Найдите начальную температуру t_1 ледяных градин. Ответ дайте в градусах Цельсия с точностью до целого числа.

Удельная теплоёмкость воды $c_в = 4200$ Дж/(кг $\cdot°$ C); удельная теплоёмкость льда $c_л = 2100$ Дж/(кг $\cdot°$ C); удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг; плотность льда $\rho_л = 900$ кг/м^3; плотность воды $\rho_в = 1000$ кг/м^3.

Ответ: $t_1 \approx -6° C$.

Задача 2 / 1. Имеется система из трех одинаковых вертикальных сообщающихся сосудов, частично заполненных водой. Площадь поперечного сечения каждого сосуда равна S. В левый сосуд доливают слой керосина высотой $H_1 = 20$ см, а в правый сосуд – слой масла высотой $H_2 = 10$ см. Жидкости не смешиваются и не выливаются из трубок. На сколько изменится уровень воды в среднем сосуде по сравнению с первоначальным после установления равновесия? Ответ дайте в сантиметрах с точностью до десятых. Плотность воды $\rho_в = 1000$ кг/м^3; плотность керосина $\rho_к = 800$ кг/м^3; плотность масла $\rho_м = 900$ кг/м^3.

Возможное решение

Обозначим искомое изменение уровня воды в среднем сосуде как Δh_{mid}. Пусть уровни воды в левом и правом сосудах опустились на x и y соответственно.

Поскольку объем воды не изменился, то в центральном колене урвень воды поднялся на высоту:

$$\Delta h_{mid} = x + y \quad (1)$$

Запишем условие равенства давлений в левом и центральном сосудах на уровне границы раздела вода-керосин:

$$P_{left} = P_{mid} \implies \rho_к g H_1 = \rho_в g(\Delta h_{mid} + x) \quad (2)$$

Аналогично для правого и центрального сосудов:

$$P_{right} = P_{mid} \implies \rho_м g H_2 = \rho_в g(\Delta h_{mid} + y) \quad (3)$$

Складывая уравнения (2) и (3) с учетом выражения (1):

$$\rho_к g H_1 + \rho_м g H_2 = \rho_в g\left(\Delta h_{mid} + x + \Delta h_{mid} + y\right) = 3\rho_в g \Delta h_{mid}$$

Откуда получаем:

$$\Delta h_{mid} = \frac{\rho_к H_1 + \rho_м H_2}{3\rho_в} \approx 8{,}3 \text{ см.}$$

Ответ: $\Delta h_{mid} = 8,3$ *см.*

Задача 2 / 2. Имеется система из трех одинаковых вертикальных сообщающихся сосудов, частично заполненных водой. Площадь поперечного сечения каждого сосуда равна S. В левый сосуд доливают слой керосина высотой $H_1 = 24$ см, а в правый сосуд – слой масла высотой $H_2 = 12$ см. Жидкости не смешиваются и не выливаются из трубок. На сколько изменится уровень воды в среднем сосуде по сравнению с первоначальным после установления равновесия? Ответ дайте в сантиметрах с точностью до десятых. Плотность воды $\rho_в = 1000$ кг/м^3; плотность керосина $\rho_к = 780$ кг/м^3; плотность масла $\rho_м = 920$ кг/м^3.

Ответ: $\Delta h_{mid} = 9,9$ *см.*

Задача 3 / 1. Ученик восьмого класса Вова хочет использовать гелиевые воздушные шарики, чтобы поднять себя над землей вместе со стулом, на котором он сидит. Радиус каждого воздушного шара равен $R = 30$ см, а общая масса Вовы и стула равна $m = 90$ кг. В ответе укажите минимальное количество шариков, которое ему потребуется. Плотность гелия $\rho_{\text{гелия}} = 0{,}18$ кг/м^3; плотность воздуха $\rho_{\text{воздуха}} = 1{,}29$ кг/м^3; $\pi = 3{,}14$. Считайте, что масса оболочки воздушного шара пренебрежимо мала. Объёмом Вовы и стула по сравнению с суммарным объёмом гелиевых шариков пренебречь. Примечание: объём шара радиуса R можно вычислить по формуле $V_{\text{шара}} = \dfrac{4}{3}\pi R^3$.

Возможное решение

Для того, чтобы вся конструкция поднялась над землей, необходимо, чтобы сила Архимеда, действующая на шарики превосходила силу тяжести конструкции. Масса всей системы состоит из массы Вовы, массы стула, а также массы гелия в шарах. Пусть N – количество шаров. Таким образом,

$$F_{\text{тяжести}} < F_{\text{Архимеда}}.$$

С учетом выражения для силы Архимеда:

$$(m + \rho_{\text{гелия}} N V_{\text{шара}})g < \rho_{\text{воздуха}} g N V_{\text{шара}}.$$

Перегруппируем слагаемые в частях неравенства:

$$m < (\rho_{\text{воздуха}} - \rho_{\text{гелия}}) N V_{\text{шара}}.$$

Тогда необходимое количество шаров удовлетворяет неравенству:

$$N > \frac{m}{\frac{4}{3}\pi R^3(\rho_{\text{воздуха}} - \rho_{\text{гелия}})} \approx 717,3.$$

Откуда следует, что минимальное количество шаров равно 718.

Ответ: $N_{мин} = 718$.

Задача 3 / 2. Ученик восьмого класса Вова хочет использовать гелиевые воздушные шарики, чтобы поднять себя над землей вместе со стулом, на котором он сидит. Радиус каждого воздушного шара равен $R = 35$ см, а общая масса Вовы и стула равна $m = 80$ кг. В ответе укажите минимальное количество шариков, которое ему потребуется. Плотность гелия $\rho_{\text{гелия}} = 0{,}18$ кг/м^3; плотность воздуха $\rho_{\text{воздуха}} = 1{,}29$ кг/м^3; $\pi = 3{,}14$. Считайте, что масса оболочки воздушного шара пренебрежимо мала. Объёмом Вовы и стула по сравнению с суммарным объёмом гелиевых шариков пренебречь. Примечание: объём шара радиуса R можно вычислить по формуле $V_{\text{шара}} = \dfrac{4}{3}\pi R^3$.

Ответ: $N_{мин} = 402$.

Задача 4 / 1. Шурик проводит опыт по изучению теплопроводности теплоизоляционных материалов. У него есть два одинаковых герметичных контейнера с одинаковой площадью поверхности, помещенных в лаборатории, где температура воздуха постоянна и равна $t_{лаб} = 20°C$. Первый контейнер Шурик покрыл слоем теплоизоляции из материала A толщиной $d_1 = 4$ см. Внутри этого контейнера поддерживается температура $t_1 = 50°C$. Для поддержания этой температуры требуется мощность нагревателя $P_1 = 15$ Вт. Второй контейнер покрыт слоем теплоизоляции из материала B толщиной $d_2 = 2$ см, а внутренняя температура во втором контейнере равна $t_2 = 30°C$.

Мощность P теплоотдачи через теплоизоляционный слой можно вычислить по формуле:

$$P = \lambda \frac{S\Delta t}{d},$$

где Δt – разность температур на границах слоя, S – площадь поперечного сечения слоя, d – толщина слоя, λ – коэффициент теплопроводности материала теплоизоляционного слоя.

Известно, что коэффициент теплопроводности материала B в два раза больше, чем у материала A: $\lambda_B = 2\lambda_A$. Найдите мощность P_2, необходимую для поддержания температуры t_2 во втором контейнере. Ответ дайте в ваттах с точностью до целого числа.

Возможное решение

Запишем выражения для мощностей теплоотдачи через теплоизоляционный слой в первом и втором контейнерах:

$$P_1 = \lambda_A \frac{S(t_1 - t_{лаб})}{d_1}$$

$$P_2 = \lambda_B \frac{S(t_2 - t_{лаб})}{d_2}$$

Разделив уравнения друг на друга, получим:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} \frac{(t_2 - t_{лаб})}{(t_1 - t_{лаб})} \frac{d_1}{d_2}$$

Откуда находим искомую мощность:

$$P_2 = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} \frac{(t_2 - t_{лаб})}{(t_1 - t_{лаб})} \frac{d_1}{d_2} P_1 = 20 \text{ Вт}.$$

Ответ: $P_2 = 20$ *Вт.*

Задача 4 / 2. Шурик проводит опыт по изучению теплопроводности теплоизоляционных материалов. У него есть два одинаковых герметичных контейнера с одинаковой площадью поверхности, помещенных в лаборатории, где температура воздуха постоянна и равна $t_{лаб} = 18°C$. Первый контейнер Шурик покрыл слоем теплоизоляции из материала A толщиной $d_1 = 5$ см. Внутри этого контейнера поддерживается температура $t_1 = 48°C$. Для поддержания этой температуры требуется мощность нагревателя $P_1 = 12$ Вт. Второй контейнер покрыт слоем теплоизоляции из материала B толщиной $d_2 = 3$ см, а внутренняя температура во втором контейнере равна $t_2 = 33°C$.

Мощность P теплоотдачи через теплоизоляционный слой можно вычислить по формуле:

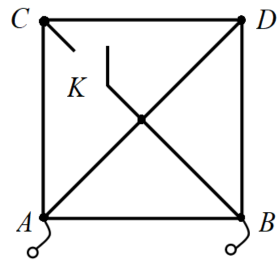
$$P = \lambda \frac{S\Delta t}{d},$$

где Δt – разность температур на границах слоя, S – площадь поперечного сечения слоя, d – толщина слоя, λ – коэффициент теплопроводности материала теплоизоляционного слоя.

Известно, что коэффициент теплопроводности материала B в полтора раза больше, чем у материала A: $\lambda_B = 1,5\lambda_A$. Найдите мощность P_2, необходимую для поддержания температуры t_2 во втором контейнере. Ответ дайте в ваттах с точностью до целого числа.

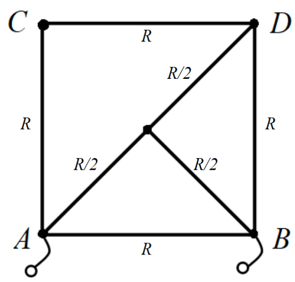
Ответ: $P_2 = 15$ *Вт.*

Задача 5 / 1. На схеме изображён электрический контур в форме квадрата. Все четыре стороны квадрата и обе его диагонали – проволочные отрезки с одинаковыми сопротивлениями $R = 1$ Ом. Центральная точка квадрата является узлом и делит проволочные отрезки диагоналей пополам. Систему подключают к источнику постоянного тока к точкам A и B. Найдите, на сколько процентов уменьшится общее сопротивление контура после замыкания ключа K. Проволочный отрезок BC диагонали квадрата с замкнутым ключом K имеет сопротивление $R = 1$ Ом. Ответ округлите до целого числа.

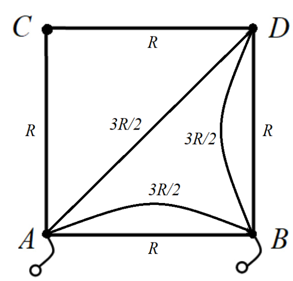


Возможное решение

При разомкнутом ключе схема цепи выглядит следующим образом:



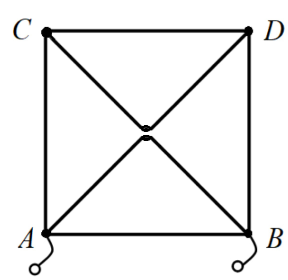
Заменим эквивалентным преобразованием «звезду» из трёх резисторов в центре схемы на «треугольник»:



Получив цепь, состоящую из попарно параллельно соединенных резисторов, получаем эквивалентное сопротивление между точками A и B:

$$R_{\text{раз}} = \frac{17}{40}R.$$

При замкнутом ключе схема упрощается, при этом центральный узел схемы может быть разделен ввиду симметрии схемы:



и эквивалентное сопротивление между A и B становится

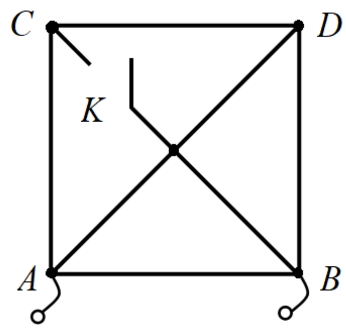
$$R_{\text{зам}} = \frac{5}{12}R.$$

Процент уменьшения сопротивления:

$$p = \frac{R_{\text{раз}} - R_{\text{зам}}}{R_{\text{раз}}} \cdot 100\% \approx 2\%.$$

Ответ: 2%.

Задача 5 / 2. На схеме изображён электрический контур в форме квадрата. Все четыре стороны квадрата и обе его диагонали – проволочные отрезки с одинаковыми сопротивлениями $R = 2$ Ом. Центральная точка квадрата является узлом и делит проволочные отрезки диагоналей пополам. Систему подключают к источнику постоянного тока к точкам A и B. Найдите, на сколько уменьшится общее сопротивление контура после замыкания ключа. Проволочный отрезок BC диагонали квадрата с замкнутым ключом K имеет сопротивление $R = 2$ Ом. Ответ дайте в омах с точностью до сотых.



Ответ: $|\Delta R| = 0{,}02$ *Ом.*