



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ 2019-2020 гг.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП
ФИЗИКА
11 КЛАСС

Максимальное количество баллов – 50 баллов.

На решение заданий школьного этапа олимпиады по физике школьникам 11 класса отводится 2,5 астрономических часа.

Задача № 1. (10 баллов)

На горизонтально расположенном листе из пластика на расстоянии $L=36$ см друг от друга лежат две шайбы массами $m_1=30$ г и $m_2=90$ г. Определите модуль минимальной скорости, которую необходимо сообщить первой шайбе (массой m_1), чтобы после центрального абсолютно упругого удара со второй шайбой она вернулась в первоначальное положение. Коэффициент трения скольжения между каждой шайбой и пластиком $\mu=0,25$. Модуль ускорения свободного падения $g=10$ м/с².

Возможное решение и критерии оценивания:

Обозначим v_0 - модуль начальной скорости первой шайбы, v_1 и v – модуль её скорости перед ударом и после удара со второй шайбой соответственно, u - модуль скорости второй шайбы сразу после удара. Закон изменения энергии при движении шайбы m_1 до соударения с шайбой m_2 имеет вид

$$0,5 m_1 v_0^2 = 0,5 m_1 v_1^2 + \mu m_1 g L \quad (1).$$

Запишем закон сохранения энергии и закон сохранения импульса при абсолютно упругом ударе шайб:

$$0,5 m_1 v_1^2 = 0,5 m_1 v^2 + 0,5 m_2 u^2 \quad (2)$$

$$m_1 v_1 = - m_1 v + m_2 u \quad (3)$$

$$\text{Из (2) и (3) следует, что } v = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} v_1 \quad (4).$$

Так как шайба m_1 должна вернуться в первоначальное положение, то закон изменения энергии имеет вид $0,5 m_1 v^2 = \mu m_1 g L$ (5) или $v^2 = 2 \mu g L$ (6) .

Из уравнений (4) и (6) найдем квадрат модуля скорости:

$$v_1^2 = \frac{(m_1 + m_2)^2}{(m_2 - m_1)^2} v^2 = \frac{(m_1 + m_2)^2}{(m_2 - m_1)^2} 2 \mu g L = 7,2 m^2 / c^2 \quad (7)$$

$$\text{Из (1) найдем модуль начальной скорости } v_0 = \sqrt{v_1^2 + 2 \mu g L} \quad (8).$$

С учётом (7) искомый модуль начальной скорости $v_0 = 3$ м/с.



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ 2019-2020 гг.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП
ФИЗИКА
11 КЛАСС

Критерии оценивания:

1. Записан закон изменения энергии первой шайбы до удара (1) – 2 балла
2. Записаны законы сохранения энергии и импульса для системы шайб во время удара (2) и (3) - 2 балла
3. Найден модуль скорости первой шайбы после удара (4) – 2 балла
4. Записано уравнение (5) – 1 балл
5. Найден модуль скорости v_1 – 1 балл
6. Получен правильный ответ задачи – 2 балла.

Задача 2 (10 баллов)

В цилиндрическом сосуде с площадью основания $S = 11 \text{ см}^2$ находится кубик льда массой $m = 11 \text{ г}$ при температуре $t = -10^\circ \text{C}$. Какое минимальное количество теплоты Q нужно сообщить льду для того, чтобы при дальнейшем нагревании уровень воды в сосуде не изменился? Удельная теплоемкость льда $c = 2,1 \text{ Дж/(г}\cdot\text{K)}$, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330 \text{ Дж/г}$, плотность льда $\rho_{\text{л}} = 0,9 \text{ г/см}^3$, плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$. При расчете принять, что при плавлении кусок льда сохраняет форму куба.

Возможное решение и критерии оценивания:

Уровень воды в сосуде будет подниматься до момента всплытия льда. После этого, пока весь лед не растает, уровень воды будет находиться на одной и той же высоте h , которая определяется объемом воды, образовавшейся из всего растаявшего льда: $h = \frac{m}{S\rho_{\text{в}}}$. С другой стороны, лед всплывает, когда глубина подводной части кубика станет равной h . Из условия плавания частично растаявшего кубика $\rho_{\text{л}}a^3g = \rho_{\text{в}}a^2hg$ найдем длину его ребра: $a = \frac{h\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{л}}}$. Отсюда масса начавшего плавать кубика $m_{\text{плавающ. льда}} = \rho_{\text{л}}a^3$, $m_{\text{плавающ. льда}} = \frac{m^3}{\rho_{\text{л}}^2 S^3}$.

Таким образом, для того чтобы кубик всплыл, нужно, чтобы растаяла масса льда $m_{\text{х}} = m - m_{\text{плавающ. льда}}$. Для этого потребуется количество теплоты $Q = m_{\text{х}}c(0^\circ\text{C} - t) + m_{\text{х}}\lambda$. Подставляем $m_{\text{х}}$ в последнюю формулу и вычисляем, получаем $Q = 3,5 \text{ кДж}$.

Критерии оценивания:

1. Обоснование момента таяния льда, в который перестает меняться уровень воды при дальнейшем нагревании – 3 балла.

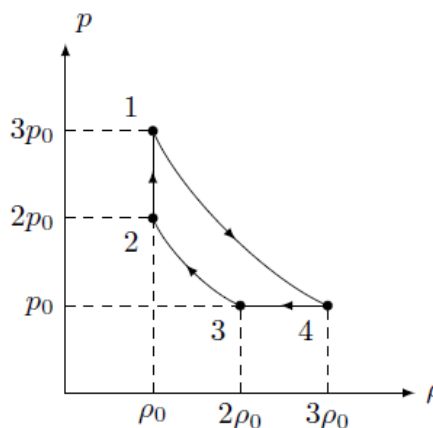


ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ 2019-2020 гг.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП
ФИЗИКА
11 КЛАСС

2. Определен уровень воды h , при достижении которого при дальнейшем нагревании уровень воды не меняется - 2 балла
3. Записано условие плавания подтаявшего кубика, найдена длина ребра и масса кубика – 2 балла
4. Правильно определена масса растаявшего льда – 1 балл
5. Правильно записаны формулы для расчета количества теплоты для нагревания льда и для плавления его части- 1 балл
6. Выполнен расчет с указанием единиц измерения- 1 балл.

Задача 3 (10 баллов)

Идеальный одноатомный газ совершает в тепловом двигателе цикл 1-2-3-4-1, в котором давление p газа изменяется с изменением его плотности ρ так, как показано на рисунке, причем графики процессов 2-3 и 4-1 представляют собой участки гипербол. Определите коэффициент полезного действия тепловой машины, работающей по этому циклу.



Возможное решение и критерии оценивания:

Перечертим данный график в координатах p, V . Объем $V_0 = \frac{m}{\rho_0}$, в точке 4

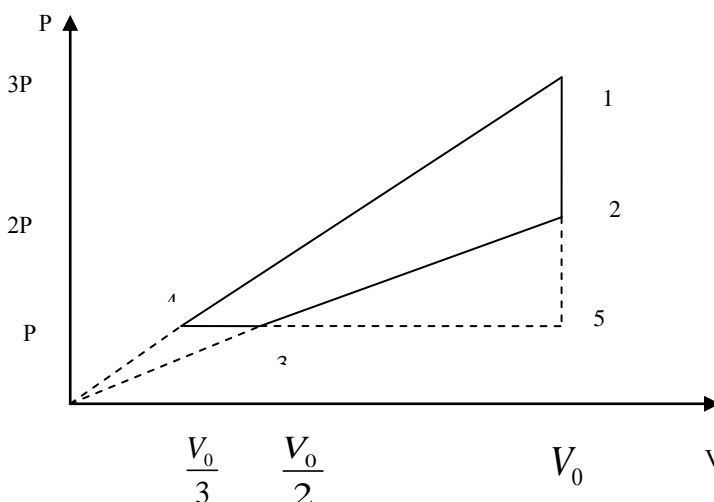
$$V_4 = \frac{m}{3\rho_0} = \frac{V_0}{3}; \text{ участкам 2-3 и 4-1}$$

в координатах p - V будут соответствовать прямые, проходящие через начало координат ($p \cdot \rho = \text{const}$, $\frac{p}{V} = \text{const}^1$).

Найдем КПД цикла

$$\eta = \frac{A_{\text{пол.}}}{Q_{\text{наг.}}}, \text{ где } A_{\text{пол.}} - \text{площадь}$$

четырехугольника в координатах p - V , а $Q_{\text{наг.}}$ – это количество теплоты, сообщенное газу в процессе 4-1.





ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ 2019-2020 гг.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП
ФИЗИКА
11 КЛАСС

На графике восстановим точку 5 и найдем полезную работу как разность площадей треугольников A_{415} и A_{325} : $A_{\text{пол.}} = \frac{5p_0V_0}{12}$.

По первому началу термодинамики $Q_{\text{наг.}} = \frac{16}{3}p_0V_0$ $Q_{\text{наг.}} = Q_{41} = \Delta U_{41} + A_{41}$.

Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U_{41} = \frac{3}{2}\nu R(T_1 - T_4) = \frac{3}{2}(\nu RT_1 - \nu RT_4) = \frac{3}{2}(3p_0V_0 - \frac{1}{3}p_0V_0) = 4p_0V_0. \text{ Работа газа в процессе 4-1}$$

$$A_{41} = \frac{1}{2}(p_0 + 3p_0) \cdot \frac{2}{3}V_0 = \frac{4}{3}p_0V_0. \text{ Количество теплоты, полученное от нагревателя:}$$

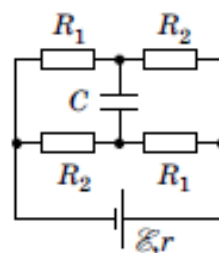
$$Q_{\text{наг.}} = \frac{16}{3}p_0V_0. \text{ КПД цикла } \eta = \frac{5}{12} \cdot \frac{3}{16} = \frac{5}{64} \cong 0,078 = 7,8\%.$$

Критерии оценивания:

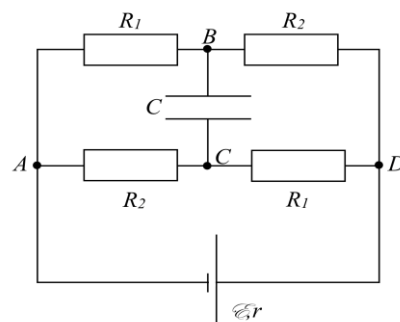
1. Перестроен график в координатах p - V с объяснением функциональной зависимости на участках 2-3 и 4-1 – 3 балла.
2. Записана формула КПД теплового двигателя - 1 балл
3. Найдена полезная работа в цикле – 2 балла
4. Записано первое начало термодинамики для процесса 4-1 – 1 балл
5. Найдена работа в процессе 4-1- 1 балл
6. Записаны формулы изменения внутренней энергии, уравнение состояния, найдено изменение внутренней энергии в процессе 4-1- 1 балл.
7. Найдено численное значение КПД – 1 балл

Задача 4 (10 баллов)

Найдите заряд на обкладках конденсатора емкостью $C=1,5$ пФ в цепи, изображенной на рисунке. ЭДС источника $\mathcal{E}=6$ В, внутреннее сопротивление $r=1$ Ом, сопротивления $R_1=8$ Ом, $R_2=2$ Ом.



Возможное решение и критерии оценивания:





ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ 2019-2020 гг.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП
ФИЗИКА
11 КЛАСС

Конденсатор – разрыв в цепи, поэтому в схеме две параллельные ветви из последовательно соединенных резисторов R_1 и R_2 . Найдем сопротивление внешнего участка цепи $R=0,5 (R_1 + R_2)$. Сила тока в неразветвленном участке

$$I = \frac{\varepsilon}{r + 0,5(R_1 + R_2)}.$$

Так как сопротивления ветвей одинаковые, то сила тока через каждую ветвь $I_1=0,5I$.

Напряжение на резисторах R_1 и R_2 равны $U_1 = \varphi_A - \varphi_B = I_1 R_1$, $U_2 = \varphi_A - \varphi_C = I_1 R_2$.

Напряжение на конденсаторе

$U_c = \varphi_C - \varphi_B = U_1 - U_2 = 0,5I (R_1 - R_2)$, заряд конденсатора $q_c = C U_c = 0,5CI (R_1 - R_2)$;

$$q_c = \frac{\varepsilon C (R_1 - R_2)}{2r + R_1 + R_2}, q_c = 4,5 \text{ пКл.}$$

Критерии оценивания:

1. *Найдена сила тока в неразветвленном участке цепи и через резисторы R_1 и R_2 – 3 балла*
2. *Найдены напряжения на резисторах – 2 балла*
3. *Найдено напряжение на конденсатор – 3 балла*
4. *Найден заряд на конденсаторе – 2 балла*

Задача 5 (10 баллов)

Со стола, с высоты $h = 0,5$ м упал протон (масса $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ кг, заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл). Индукция магнитного поля Земли $B = 10^{-4}$ Тл. Через какой промежуток времени протон ударится о пол?

Возможное решение и критерии оценивания:

Протон падает **вертикально** с высоты $h = 0,5$ м.

В магнитном поле Земли на него действует сила, которая закручивает его траекторию **(3 балла)**.

Определим радиус траектории протона.

$$\frac{mV^2}{R} = eVB_r \Rightarrow R = \frac{mV}{eB_r} \approx \frac{mV}{eB} \approx 10^{-4} V. \text{ (3 балла)}$$



ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ 2019-2020 гг.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП
ФИЗИКА
11 КЛАСС

Максимальная скорость, которой может достичь протон, свободно падая с высоты h в поле тяжести Земли $V_{MAX} = \sqrt{2gh} \approx 3,3 м/с$. **(1 балл)**

При такой скорости $2R \ll h$. **(1 балл)**

Протон не упадет на пол. **(2 балла)**