

При проверке олимпиадной работы руководствуйтесь критериями оценивания, приведёнными ниже после решения каждой из задач. Если какие-то пункты критериев в явном виде отсутствуют, но в дальнейшем решении используются, то они должны быть засчитаны. При этом проверяющий имеет право ставить неполный балл за действие, обозначенное в критериях, если оно выполнено учащимся частично.

Каждая задача (независимо от уровня сложности) оценивается из 10 баллов.

Предложенные учениками решения задач могут быть правильными, даже если эти решения кардинально отличаются от авторских! В этом случае рекомендуется придерживаться следующих критериев оценивания:

**0 баллов** – если ученик не приступал к решению задачи или приступил, но никаких разумных соображений не привёл;

**1 - 5 баллов** – если ученик написал разумные соображения, уравнения и рисунки, но полную систему уравнений для решения задачи составить не смог;

**6 - 8 баллов** – ученик понял физику решения, составил полную систему уравнений, необходимую для решения задачи, но довести решение системы до конца не смог;

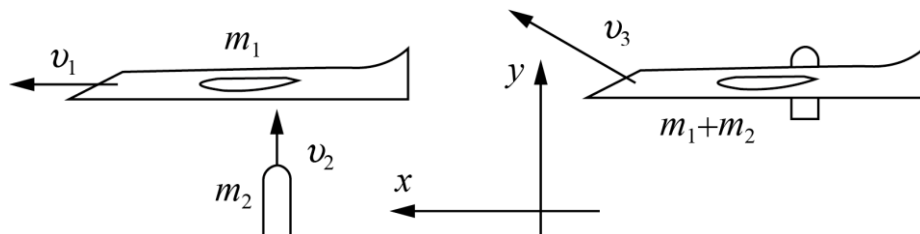
**9 баллов** – ученик решил правильно задачу в общем виде (получил буквенный ответ), но сделал математические ошибки в окончательных вычислениях;

**10 баллов** – задача решена полностью (при этом способ решения, предложенный учеником, может кардинально отличаться от авторского).

## 11 класс

**Задача 1. ПВО.** Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) массой  $m_1 = 300$  кг, летящий горизонтально со скоростью  $v_1 = 200$  м/с, на подлёте к охраняемой территории попал под огонь зенитной артиллерии. Подлетевший вертикально со скоростью  $v_2 = 300$  м/с снаряд массой  $m_2 = 20$  кг застрял в БПЛА. Определите количество теплоты  $Q$  выделившееся в результате попадания.

**Возможное решение.**



Так как взаимодействие снаряд-БПЛА произошло очень быстро, действием силы тяжести и подъёмной силой пренебрежём. **(1 балл)**

Запишем закон сохранения энергии и импульса (в проекциях на оси):

$$\begin{cases} m_1 v_1^2 / 2 + m_2 v_2^2 / 2 = (m_1 + m_2)(v_{3x}^2 + v_{3y}^2) / 2 + Q \\ m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v_{3x} \\ m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_{3y} \end{cases} \quad \text{(6 баллов)}$$

**(по 2 балла за уравнение)**

Из записанных уравнений найдём компоненты конечной скорости:

$$v_{3x} = \frac{m_1 v_1}{(m_1 + m_2)} = 187,5 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

$$v_{3y} = \frac{m_2 v_2}{(m_1 + m_2)} = 18,75 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

**(2 балла)**

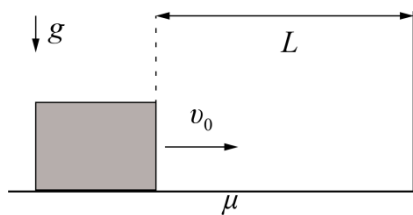
**(по 1 баллу за уравнение)**

Искомое количество теплоты:

$$Q = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2)(v_{3x}^2 + v_{3y}^2)}{2} \approx 1,22 \text{ МДж}$$

**(1 балл)**

**Задача 2. Туда и обратно.** Бруску, находившемуся на горизонтальной поверхности на расстоянии  $L = 1,5$  м от стены, сообщили скорость  $v_0$  в направлении стены, при столкновении с которой он потерял 50% своей кинетической энергии перед ударом. Определите минимальную скорость  $v_0$ , при которой брусок сможет вернуться в исходную точку. Коэффициент трения между бруском и поверхностью  $\mu = 0,1$ . Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



**Возможное решение.**

Начальная кинетическая энергия бруска  $\frac{mv_0^2}{2}$  (1 балл)  
уменьшается за счёт работы силы трения

$$|A| = F_{\text{тр}} S = \mu mgL. \quad (2 \text{ балла})$$

Энергия бруска перед ударом:

$$E_1 = \frac{mv_0^2}{2} - \mu mgL. \quad (1 \text{ балл})$$

После столкновения со стенкой кинетическая энергия бруска:

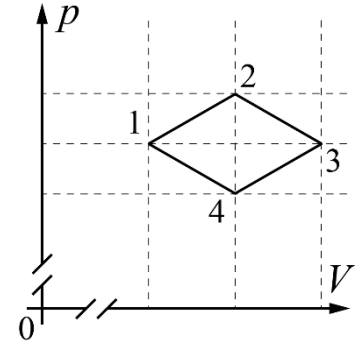
$$E_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{mv_0^2}{2} - \mu mgL \right). \quad (2 \text{ балла})$$

Данная энергия потратится на работу против силы трения при возвращении в исходную точку (при минимальной  $v_0$ ).

$$\frac{1}{2} \left( \frac{mv_0^2}{2} - \mu mgL \right) - \mu mgL = 0. \quad (2 \text{ балла})$$

Откуда  $v_0 = \sqrt{6\mu gL} = 3$  м/с. (2 балла)

**Задача 3. Ромб.** Найдите отношение изменений внутренней энергии идеального одноатомного газа  $\Delta U_{12}/\Delta U_{34}$  на участках 12 и 34 в ходе циклического процесса, который на  $pV$  диаграмме имеет вид ромба с диагоналями параллельными координатным осям (см. рис.).



**Возможное решение.**

Обозначим давление и объём в центре ромба за  $p$  и  $V$ . Максимальные отклонения давления и объёма от  $p$  и  $V$  в цикле обозначим за  $\Delta p$  и  $\Delta V$  (см. рис.). **(1 балл)**

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа

определяется как  $U = \frac{3}{2} \nu RT$ . **(2 балла)**

Так же, в любом равновесном состоянии верно уравнение Менделеева-Клапейрона:

$$pV = \nu RT. \quad \text{(2 балла)}$$

Запишем изменение внутренней энергии в процессе 12:

$$\Delta U_{12} = \left( \frac{3}{2} \nu RT_2 - \frac{3}{2} \nu RT_1 \right) = \frac{3}{2} (p + \Delta p)V - \frac{3}{2} (V - \Delta V)p = \frac{3}{2} (p\Delta V + V\Delta p) \quad \text{(2 балла)}$$

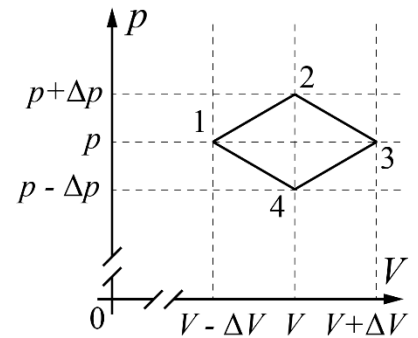
Запишем изменение внутренней энергии в процессе 34:

$$\Delta U_{34} = \left( \frac{3}{2} \nu RT_4 - \frac{3}{2} \nu RT_3 \right) = \frac{3}{2} (p - \Delta p)V - \frac{3}{2} (V + \Delta V)p = -\frac{3}{2} (p\Delta V + V\Delta p) \quad \text{(2 балла)}$$

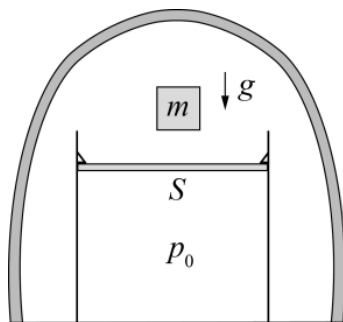
$$\frac{\Delta U_{12}}{\Delta U_{34}} = -1$$

Отношение **(1 балл)**

Отметим, что последний балл ставится только при правильном знаке!



**Задача 4. Груз на поршне.** На горизонтальном столе стоит теплоизолированный цилиндр с лёгким поршнем площадью  $S$ , под которым находится



идеальный одноатомный газ, давление которого равно  $p_0$  (см. рис.). Упоры на стенках цилиндра ограничивают движение поршня вверх. На поршень ставят и отпускают гирю массы  $m$  ( $m = 2p_0S/g$ ). Во сколько раз уменьшится объем газа после того, как система придёт в равновесие?

Считайте, что цилиндр и гиря находятся под колоколом, из-под которого откачан воздух.

**Возможное решение.**

Уравнение состояния идеального газа в начальном состоянии:

$$p_0V_0 = \nu RT_0 \quad (1 \text{ балл})$$

Его внутренняя энергия

$$U_0 = \frac{3}{2}\nu RT_0 = \frac{3}{2}p_0SH, \text{ где } H - \text{ начальная высота поршня.} \quad (1 \text{ балл})$$

В конечном состоянии давление газа находим из условия механического равновесия

$$p = \frac{mg}{S} = 2p_0. \quad (1 \text{ балл})$$

Объём газа уменьшился до  $V_1 = Sh$  за счёт перемещения груза до высоты  $h$ . Уравнение состояния будет:

$$2p_0Sh = \nu RT_1. \quad (1 \text{ балл})$$

Его внутренняя энергия

$$U_1 = \frac{3}{2}\nu RT_1 = \frac{3}{2}2p_0Sh. \quad (1 \text{ балл})$$

Так как сосуд теплоизолирован, то закон сохранения энергии запишем так:

$$U_0 + mgH = U_1 + mgh. \quad (2 \text{ балла})$$

Подставляем выражения для внутренней энергии и массы груза:

$$\frac{3}{2}p_0HS + 2p_0SH = \frac{3}{2}2p_0Sh + 2p_0Sh. \quad (1 \text{ балл})$$

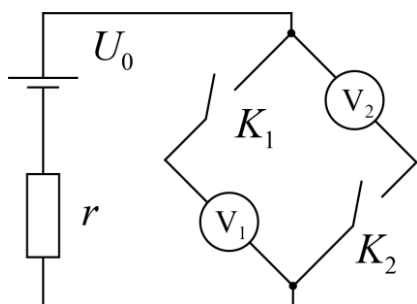
$$\text{Откуда } \frac{H}{h} = \frac{10}{7}, \quad (1 \text{ балл})$$

$$\text{а отношение объемов } \frac{V_1}{V_0} = \frac{h}{H} = \frac{7}{10}. \quad (1 \text{ балл})$$

Последний балл нужно ставить за любое верное соотношение между  $V_1$  и  $V_0$ !

*Примечание:* уравнение адиабаты для процесса сжатия газа применять нельзя, так как процесс сжатия не является равновесным.

**Задача 5. Тестируем вольтметры.** Электрическая цепь состоит из источника



напряжения  $U_0 = 12$  В, резистора с неизвестным сопротивлением  $r$ , вольтметров  $V_1$  и  $V_2$  и ключей  $K_1$  и  $K_2$  (см. рисунок). Если замкнут только ключ  $K_1$ , то показание одного из вольтметров равно  $U_1 = 6,0$  В. Если замкнут только ключ  $K_2$ , то показание одного из вольтметров равно  $U_2 = 8,0$  В. Найдите сумму показаний вольтметров при одновременно замкнутых ключах  $K_1$  и  $K_2$ .

**Возможное решение.**

Введём обозначения:  $R_1$  и  $R_2$  – внутренние сопротивления вольтметров  $V_1$  и  $V_2$  соответственно. При замыкании ключа  $K_1$  через вольтметр  $V_1$  потечёт ток

$$I_1 = \frac{U_0}{r + R_1}. \quad (1 \text{ балл})$$

Следовательно, его показание будет равно  $U_1 = I_1 R_1 = \frac{R_1}{r + R_1} U_0$ . (1 балл)

откуда  $R_1 = \frac{U_1}{U_0 - U_1} r = r$  (1 балл)

Через вольтметр  $V_2$  ток при этом не течёт.

При замыкании ключа  $K_2$  через вольтметр  $V_2$  потечёт ток  $I_2 = \frac{U_0}{r + R_2}$  (1 балл)

Следовательно, его показание будет равно  $U_2 = I_2 R_2 = \frac{R_2}{r + R_2} U_0$ . (1 балл)

откуда  $R_2 = \frac{U_2}{U_0 - U_2} r = 2r$  (1 балл)

Через вольтметр  $V_1$  ток при этом не течёт.

Если замкнуть одновременно ключи  $K_1$  и  $K_2$ , то суммарный ток через вольтметры будет

$$I = \frac{U_0}{r + R},$$

где  $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2}{3} r$ . (2 балла)

При этом показания каждого из вольтметров окажутся равными

$$U = IR = \frac{R}{r + R} U_0 = \frac{2}{5} U_0 = 4,8 \text{ В}. \quad (1 \text{ балл})$$

Таким образом, сумма показаний вольтметров при одновременном замыкании ключей  $K_1$  и  $K_2$ :  $\Sigma = 2U = 9,6$  В. (1 балл)