

**Ключи к заданиям муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике
2021-2022 учебный год
11 класс**

Продолжительность олимпиады: **230 минут**. Максимально возможное количество баллов: **50**

Общие критерии оценок

Жюри олимпиады оценивает записи, приведенные в чистовике. Черновики не проверяются.

Правильный ответ, приведенный без обоснования или полученный из неправильных рассуждений, не учитывается. Если задача решена не полностью, то этапы ее решения оцениваются в соответствии с критериями оценок по данной задаче.

Если задача решена отличным от авторского способа, то решение оценивается согласно приведённых ниже критериев.

Таблица 1

Критерии проверки

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
10	Полное верное решение
7-9	Верное решение. Имеются небольшие недочёты, в целом не влияющие на решение. Допущены арифметические ошибки
5-6	Задача решена частично, или даны ответы не на все вопросы
3-4	Решение содержит пробелы в обоснованиях, приведены не все необходимые для решения формулы
1-2	Рассмотрены отдельные важные случаи при отсутствии решения или при ошибочном решении
0	Решение неверно или отсутствует

Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника.

Рекомендуется проверять сначала первую задачу во всех работах, затем вторую и т.д.

Таблица 2

Все пометки в работе участника члены жюри делают только красными чернилами. Баллы за промежуточные выкладки ставятся около соответствующих мест в работе (это исключает пропуск отдельных пунктов из критериев оценок). Итоговая оценка за задачу ставится в конце решения. Кроме того, члены жюри заносит её в таблицу (см. табл. № 2) на первой странице работы и ставит свою подпись (с расшифровкой) под оценкой. В случае неверного решения необходимо находить и отмечать ошибку, которая к нему привела. Это позволит точнее оценить правильную часть решения и сэкономит время в случае апелляции

№ задания	Набранные баллы
1	
2	
3	
4	
итого	

Задание 1. Охота на уток

(10 баллов)

Решение

Если камень окажется на высоте h , то для времени полета на эту высоту получим:

$$h = t \cdot v_0 \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} \quad (1)$$

$$t^2 - \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \cdot t + \frac{2h}{g} = 0$$

$$t_{1,2} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \pm \sqrt{\frac{v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gh}{g}}$$

При этом возможны три ситуации:

1). $t_1 = t_2 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$ (см. рис.2)

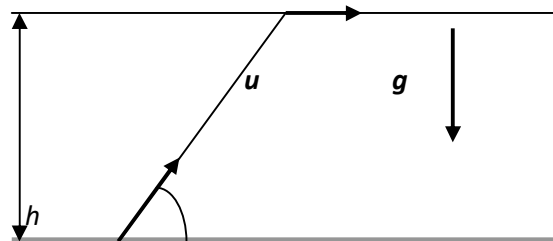


Рис.1

$$2). \quad t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{\sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gh}}{g} \quad (\text{см. рис.3})$$

$$3). \quad t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} + \frac{\sqrt{v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gh}}{g} \quad (\text{см. рис.4})$$

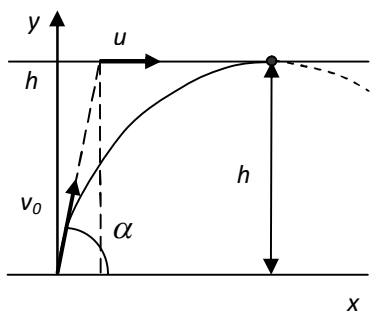


Рис.2

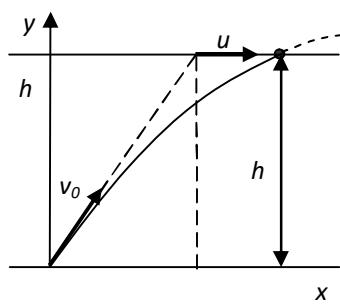


Рис.3

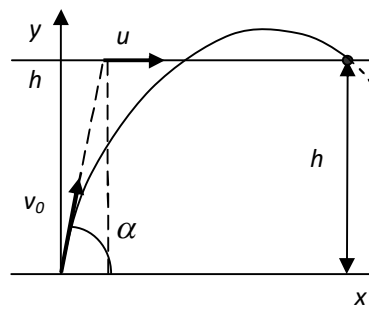


Рис.4

Рассмотрим первый случай. Выражение под радикалом равно нулю, тогда

$$v_0^2 \sin^2 \alpha = 2gh \quad h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (2)$$

$$t = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

Условие, что в момент времени t камень догонит утку по горизонтали

$$v_0 \cos \alpha \cdot t = h \cdot ctg \alpha + ut$$

$$v_0 \cos \alpha \cdot \frac{v_0 \sin \alpha}{g} = h \cdot ctg \alpha + u \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\text{В этом случае будем иметь} \quad v_0 \cos \alpha = 2u$$

Рассмотрим второй случай

$$v_0 \cos \alpha > 2u$$

$$v_0 \cos \alpha \cdot t = h \cdot ctg \alpha + ut$$

$$t = \frac{h \cdot ctg \alpha}{v_0 \cos \alpha - u}$$

Подставив t в выражение (1), для высоты получим:

$$h = \frac{2u}{g} tg^2 \alpha (v_0 \cos \alpha - u) \quad (3)$$

В третьем случае $v_0 \cos \alpha < 2u$.

Траектория камня будет такой, как показано на рис.4.

Выражение для высоты останется таким же (3).

При $v_0 \cos \alpha = 2u$ формула (3) переходит в формулу (2).

Задание 2. Смещение поршня

(6 баллов)

Решение

Газ просачивается сквозь поршень, пока его давление (концентрация молекул) по обе стороны поршня не станет одинаковым.

$$p_1 = nkT$$

Тогда суммарная сила давления на поршень этого газа равна нулю, и ее можно не учитывать при сравнении сил, действующих на поршень. Тем самым задача свелась к совсем простой: с одной стороны на поршень действует сила трения F , с другой сила давления второго газа, который не может просачиваться сквозь поршень. Отсюда следует, что если силы трения не будет, то поршень будет прижат к стенке сосуда, а оба газа будут находиться по другую сторону поршня.

1). Если $pS \leq F$, то поршень не сдвинется и $x = 0$

2). Пусть поршень сместился на x см. рис.1, тогда второй газ будет находиться в отрезке трубы длиной $L + x$. Так как процесс изотермический, то

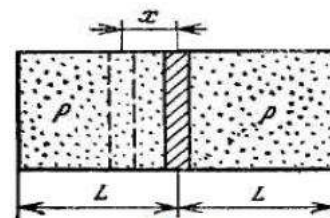


Рис.2

$$pL = p_2(L + x)$$

где P — исходное давление газа, а P_2 — установившееся давление второго газа.

Условие равновесия поршня дает $F - p_2S = 0$ отсюда

$$x = L \cdot \left(\frac{pS}{F} - 1 \right) \quad (1)$$

Из формулы видно, что при $pS = 2F$ выражение в скобке равно 1 и $x = L$

Таким образом, при большом исходном давлении, если $pS \geq 2F$ получим $x = L$, то есть поршень будет прижат к стенке сосуда, а оба газа будут находиться по другую сторону поршня.

При промежуточных значениях P справедливо выражение (1)

Критерии оценивания:

Задание 3. Идеальный газ

(10 баллов)

Решение

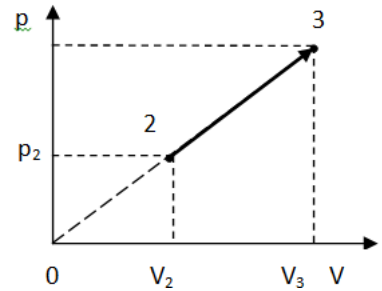
В процессе 1-2 по условию $p \sim T$. Из уравнения Менделеева — Клапейрона следует, что $p \sim T$ при $V = \text{const}$. Таким образом, процесс 1-2 является изохорным, и для одного моля идеального одноатомного газа

$$\text{теплоёмкость } C_V = \frac{3}{2}R$$

В процессе 2-3 по условию $p \sim \sqrt{T}$. Поэтому из уравнения Менделеева — Клапейрона получим ($\nu = 1$)

$$V = \frac{RT}{p} \sim \sqrt{T} \quad \text{и, таким образом,} \quad p \sim V$$

Изобразив этот процесс на pV -диаграмме (рис. 7), заметим, что газ в нём поглощает тепло. Это тепло идёт на изменение внутренней энергии газа ΔU и совершение им работы A . Обозначим давления и объёмы в



состояниях 2 и 3 через p_2, V_2 и p_3, V_3 соответственно. Тогда количество теплоты ΔQ , которое поглощает газ в процессе 2-3, можно найти из первого начала термодинамики:

$$\Delta Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}R(T_3 - T_2) + \frac{1}{2}(p_3 + p_2) \cdot (V_3 - V_2)$$

$$\Delta Q = \frac{3}{2}R(T_3 - T_2) + \frac{1}{2}(RT_3 - RT_2 + p_2V_3 - p_3V_2)$$

При преобразовании выражения в скобках учтено, что, в соответствии с уравнением Менделеева — Клапейрона, $p_2V_2 = RT_2$ и $p_3V_3 = RT_3$.

Поскольку изображающая процесс прямая проходит через начало координат диаграммы, то

$$\frac{p_2}{V_2} = \frac{p_3}{V_3}$$

С учётом этого выражение для количества теплоты принимает вид:

$$\Delta Q = 2R(T_3 - T_2)$$

Таким образом, мы доказали, что количество теплоты, сообщённое газу в данном процессе, пропорционально разности температур, которые газ имеет в начальном и конечном состояниях. Коэффициент пропорциональности равен $2R$. Следовательно молярная теплоёмкость в этом процессе

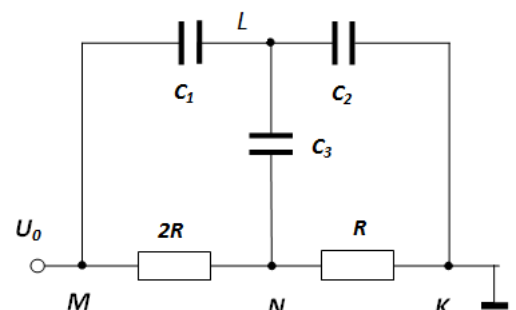
$$C_{23} = 2R$$

Критерии оценивания:

Задание 4. Конденсаторы

Решение

Через конденсаторы постоянный ток не идет. Потенциалы в точках схемы М, N и К определяются падением напряжения на сопротивлениях и будут равны:



$$U_M = U_0 \quad U_N = \frac{U_0}{3} \quad U_K = 0$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C$$

Сумма зарядов трех внутренних пластин конденсаторов, соединенных с точкой L , равна нулю:
 $q_1 + q_2 + q_3 = 0$

Пусть разность потенциалов на конденсаторе C_2 равна U_2 . Тогда

$$C(U_0 - U_2) = q_1 \quad CU_2 = q_2 \quad C(U_2 - U_0/3) = q_3$$

отсюда $C(U_0 - U_2) + q_2 + C(U_2 - U_0/3) = 0$

$$q_2 = -\frac{2}{3}CU_0$$

Критерии оценивания:

Задание 5. Преломление света

Решение

Выберем начало координат в центре окружности радиуса R , по дуге которой распространяется луч света. Пусть показатель преломления монотонно изменяется вдоль оси Z . Разобьем среду на множество тонких слоев, перпендикулярных оси Z , как показано горизонтальными пунктирными линиями на рисунке 9.

В пределах каждого из слоев показатель преломления можно считать неизменным. Пусть φ – угол между осью Z и касательной к лучу в некоторой точке. Тогда, как следует из построения на рисунке, φ является также углом падения луча на слой с координатой z .

В соответствии с законом преломления

$$n(z) \sin \varphi = \text{const}$$

Так как $\sin \varphi = \frac{z}{R}$, то:

$$n(z) = \frac{\text{const}}{\sin \varphi} = \frac{R \cdot \text{const}}{z} = \frac{k}{z}$$

где k – постоянный коэффициент. Таким образом, для того, чтобы луч света мог распространяться в среде по дуге окружности, показатель преломления должен убывать обратно пропорционально координате z , отсчитываемой от центра этой окружности.

(6 баллов)

