

**Ключи к заданиям муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике
2025-2026 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 приведенных 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.

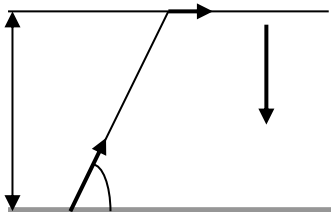
Рекомендуется проверять сначала первую задачу во всех работах, затем вторую и т.д.

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

Таблица 2

№ задания	Набранные баллы
1	
2	
3	
4	
итого	

Задача № 1(10 баллов)



Утка летела по горизонтальной прямой с постоянной скоростью $\vec{u}$ (рис.1). В нее бросил камень неопытный охотник, причем бросок был сделан без упреждения, т. е. в момент броска скорость камня $\vec{v}_0$ была направлена как раз на утку под углом α к горизонту. На какой высоте летела утка, если камень всё же попал в нее? Сопротивлением воздуха, размерами утки и ростом охотника пренебречь.

Возможное решение

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

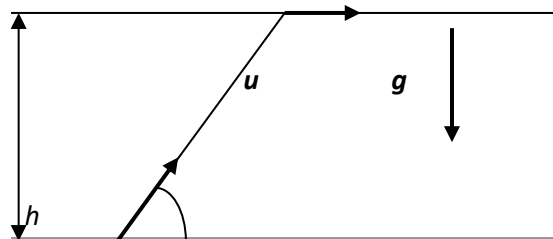


Рис.1

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

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

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

При этом возможны три ситуации:

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

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

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

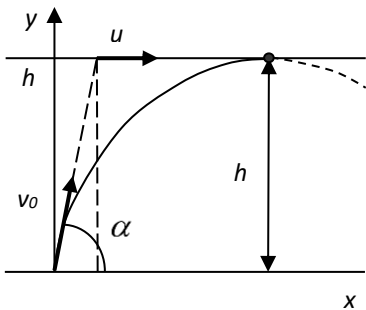


Рис.2

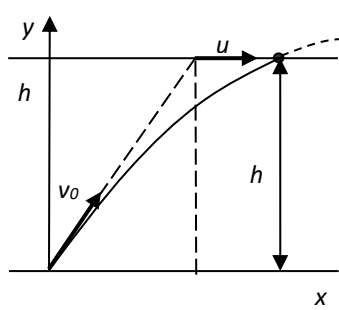


Рис.3

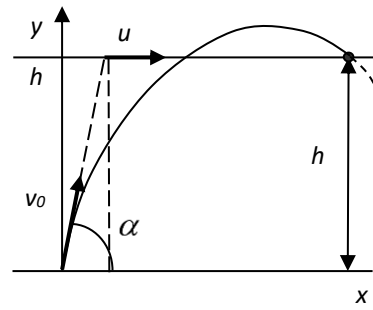


Рис.4

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

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

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

$$v_0 \cos \alpha = 2u$$

В этом случае будем иметь

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).

Задача № 2. (10 баллов)

Один моль идеального одноатомного газа последовательно участвует в двух процессах: 1-2 и 2-3 (см. рисунок 3). В первом из них давление p пропорционально температуре T , во втором p пропорционально $\sqrt{T}$. Определите теплоёмкость газа в каждом из двух процессов.

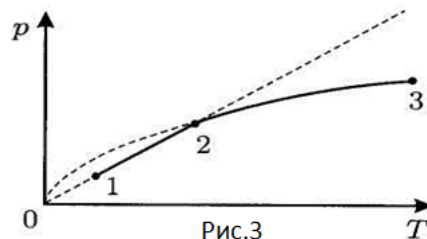


Рис.3

Возможное 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 теплоёмкость

$$C_V = \frac{3}{2}R.$$

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

$$V = \frac{RT}{p} \sim \sqrt{T}$$

и, таким образом,

$$p \sim V$$

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

$$C_{23} = 2R$$

Задача № 3. (10 баллов)

Конденсаторы, ёмкости которых равны C , и резисторы, имеющие сопротивления R и $2R$ включены в цепь, как показано на рис. 4. Найти заряд на заземленной обкладке конденсатора. Напряжение U_0 известно.

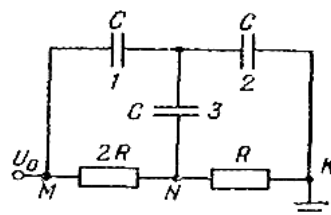


Рис.4

Возможное решение

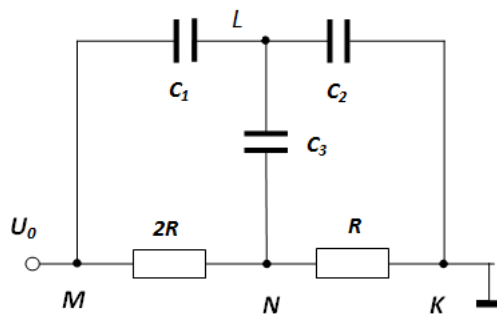
Через конденсаторы постоянный ток не идет. Потенциалы в точках схемы М, N и К определяются падением напряжения на сопротивлениях и будут равны:

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

$$C_1 = C_2 = C_3 = C$$

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

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

Задача № 4. (10 баллов)

В веществе, показатель преломления которого монотонно зависит от одной из декартовых координат, луч света может распространяться по дуге окружности. Найдите вид зависимости показателя преломления от этой координаты.

Возможное решение

Выберем начало координат в центре окружности радиуса R, по дуге которой распространяется луч света.

Пусть показатель преломления монотонно изменяется вдоль оси Z. Разобьём 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

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

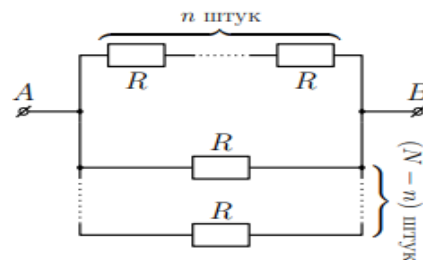
Так как $\sin \varphi = \frac{z}{R}$, то:

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

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.

Задача № 5. (10 баллов)

У школьника Саши есть N одинаковых резисторов сопротивлением R каждый. Саша собрал из них такую цепочку: p резисторов он соединил последовательно, а все остальные присоединил параллельно к ним. Саша с помощью омметра измерил зависимость общего сопротивления цепочки от числа последовательно соединённых резисторов, получившаяся зависимость приведена в таблице ниже



n	2	3	4	5	6	7	8
$R_{\text{общ}}, \text{Ом}$	9,4	10,9	12,8	15,4	19,2	25,5	37,6

1. Запишите формулу для сопротивления цепочки $R_{\text{общ}}$, выразив его следующие параметры: сопротивление одного резистора R, число соединённых последовательно резисторов p и полное число резисторов N.

2. Перепишите эту формулу в виде $y = N - R \cdot x$, для чего определите величины x и y .
3. Постройте зависимость $y(x)$ и графически определите значения сопротивления одного резистора R и полного числа резисторов N .

Возможное решение

Общее сопротивление последовательно соединённой части цепочки будет равно nR , тогда для параллельного соединения

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \underbrace{\frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{R}}_{N-n \text{ раз}} + \frac{1}{nR} = \frac{N-n}{R} + \frac{1}{nR} = \frac{(N-n)n+1}{nR}. \quad (1)$$

Тогда полное сопротивление цепочки

$$R_{\text{общ}} = \frac{nR}{(N-n)n+1}. \quad (2)$$

Преобразуем полученное уравнение:

$$nR = R_{\text{общ}} ((N-n)n+1) = R_{\text{общ}} (Nn - n^2 + 1). \quad (3)$$

Чтобы при полном числе резисторов N был множитель, равный единице, разделим это уравнение на $R_{\text{общ}} \cdot n$:

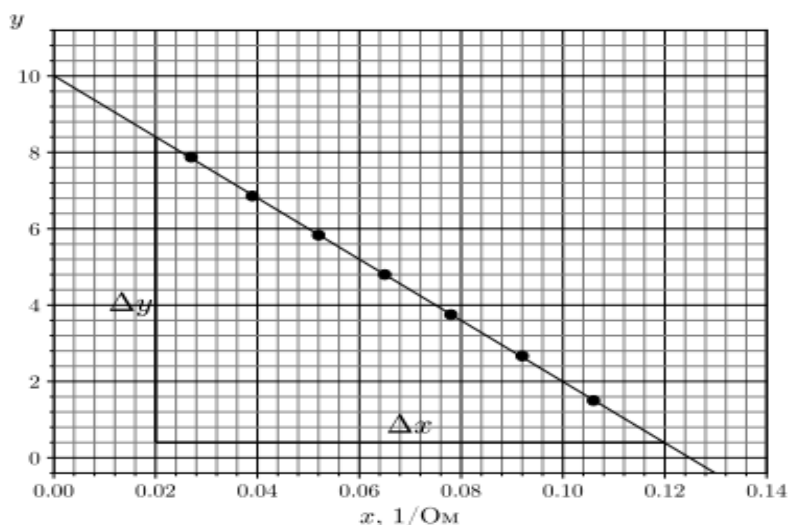
$$\frac{R}{R_{\text{общ}}} = N - n + \frac{1}{n}, \quad n - \frac{1}{n} = N - R \cdot \frac{1}{R_{\text{общ}}}. \quad (4)$$

Сравнивая полученное уравнение с уравнением $y = N - R \cdot x$, установим, что

$$y = n - \frac{1}{n}, \quad x = \frac{1}{R_{\text{общ}}}. \quad (5)$$

График зависимости $y(x)$ будет иметь вид прямой линии, полное число резисторов N можно найти по точке пересечения прямой с осью Oy , а сопротивление одного резистора R — по угловому коэффициенту прямой. Вычисляем значения x и y , заносим их в таблицу и строим график:

n	2	3	4	5	6	7	8
$R_{\text{общ}}, \text{ Ом}$	9,4	10,9	12,8	15,4	19,2	25,5	37,6
$x, 1/\text{Ом}$	0,106	0,092	0,078	0,065	0,052	0,039	0,027
y	1,500	2,667	3,750	4,800	5,833	6,857	7,875



По графику находим:

$$N = 10, \quad R = \frac{|\Delta y|}{|\Delta x|} = \frac{8,4 - 0,4}{0,12 - 0,02} = 80 \text{ Ом}. \quad (6)$$