Решения к заданиям муниципального этапа Всероссийской олимпиады школьников по физике 2017-18 учебный год 11 класс

Решение каждой задачи оценивается целым числом баллов от 0 до 10. Жюри Олимпиады оценивает записи, приведенные **только** в чистовике. Черновики не проверяются.

Не допускается снятие баллов за «плохой почерк», за решение задачи нерациональным способом, не в общем виде, или способом, не совпадающим с предложенным методической комиссией. **Правильный ответ, приведенный без обоснования или полученный из неправильных рассуждений, не учитывается.**

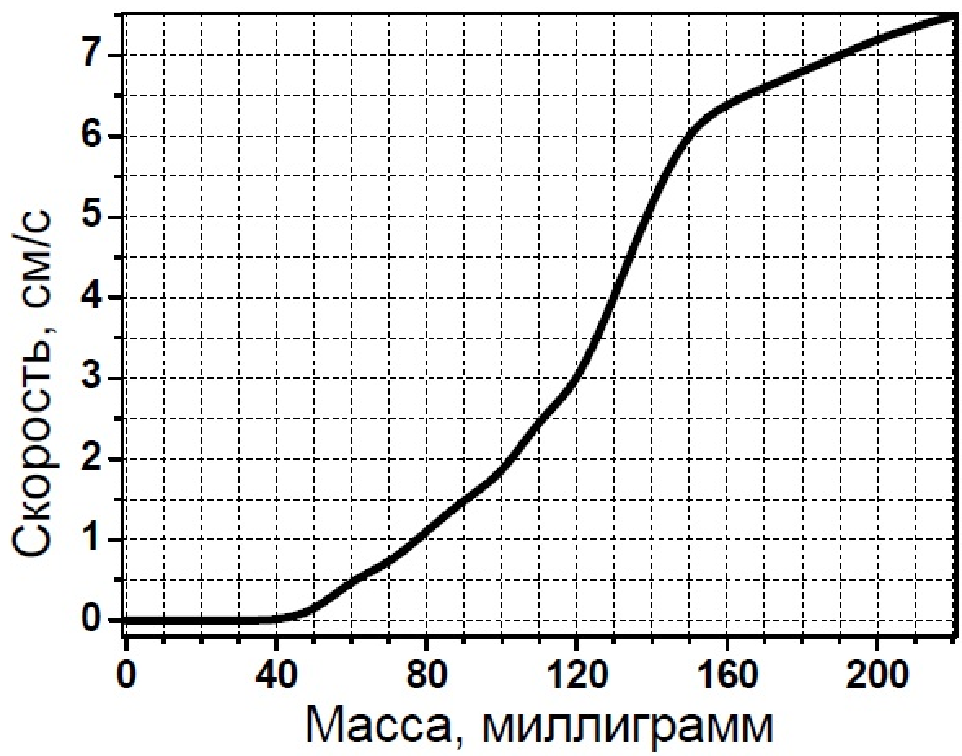
Проверка работ осуществляется Жюри Олимпиады согласно стандартной методике оценивания решений:

Баллы	Правильность (ошибочность) решения
10	Полное верное решение
8	Верное решение. Имеются небольшие недочеты, в целом не влияющие на решение.
5-6	Решение в целом верное, однако, содержит существенные ошибки (не физические, а математические).
5	Найдено решение одного из двух возможных случаев.
2-3	Есть понимание физики явления, но не найдено одно из необходимых для решения уравнений, в результате полученная система уравнений не полна и невозможно найти решение.
0-1	Есть отдельные уравнения, относящиеся к сути задачи при отсутствии решения (или при ошибочном решении).
0	Решение неверное, или отсутствует.

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, член жюри заносит ее в таблицу на первой странице работы и ставит свою подпись 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.

Задача 1. После небольшого дождя на оконном стекле высотой 1.5 м осталось много одинаковых неподвижных капель воды. На самом верху стекла две капли оказались рядом, и они слились в одну, бóльшую каплю. Эта капля стала двигаться вниз по стеклу со скоростью 0.5 см/с, практически не оставляя следов на стекле. Затем эта капля слилась с еще одной. Увеличившаяся капля продолжила движение вниз и т.д. Зависимость средней скорости сползания капли от ее массы приведена на графике справа. С помощью графика определите, за какое время эта капля дойдет до нижнего края стекла. Считать, что движущаяся капля встречает неподвижную каплю примерно через каждые 30 см.



Возможное решение.

Согласно графику капля, спускающаяся со скоростью 0.5 см/с имеет массу 60 мг (+1 балл). Это значит, что каждая неподвижная капля имеет массу 30 мг (+2 балла), так как при слиянии массы складываются, а все капли одинаковые и на стекле воды не остается. Всего надо учесть еще 4 слияния, при которых будут получаться капли с массами 90 мг, 120 мг, 150 мг и 180 мг (+1 балл). Капля с массой 180 мг дойдет до нижнего края (+1балл). По графику можно определить, что средние скорости движения этих капель будут составлять: 1.5 см/с, 3 см/с, 6 см/с, 6.8 см/с, соответственно (+ 2 балла). Время на прохождение каждого из пяти участков по 30 см будет составлять: 60 с, 20 с, 10 с, 5 с и ≈4.4 с, соответственно (+1балл). Полное время составит примерно 99 с (+2 балла)

Задача 2. Гоночный автомобиль движется по виражу – участку дороги, на котором реализован поворот с наклоном дорожного полотна, причём внешняя сторона полотна находится выше, чем внутренняя. Оказалось, что для некоторого виража радиусом R = 500 м и с углом наклона полотна дороги к горизонту α = 30° максимальная скорость, с которой автомобиль может проехать этот поворот, составила v_0 = 360 км/ч. Определите, чему равнялась бы максимальная скорость в случае, если бы дорожное полотно на повороте было уложено без наклона. Ускорение свободного падения считайте равным g = 10 м/с^2, радиус виража измеряется в горизонтальной плоскости.

Возможное решение.

При движении в повороте на автомобиль действуют три силы: сила тяжести $\overrightarrow{mg}$, сила реакции опоры $\overrightarrow{N}$ и сила трения $\overrightarrow{F_{тр}}$. В обоих случаях скорость автомобиля будет максимальна, когда сила трения равна по модулю μN и направлена внутрь поворота. В первом случае запишем второй закон Ньютона для автомобиля в проекции на горизонтальную ось Ox и вертикальную ось Oy (рис. А):

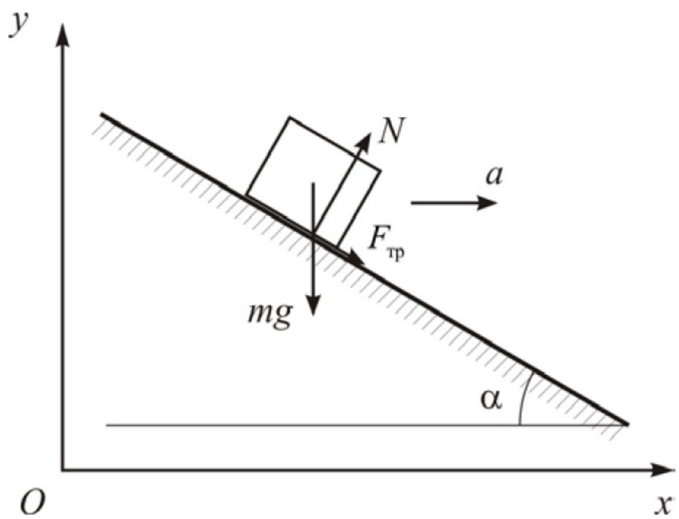


Рис. А

$$N \sin\alpha + \mu N \cos\alpha = ma = \frac{mv_0^2}{R}$$

$$N \cos\alpha - \mu N \sin\alpha - mg = 0$$

Из записанных уравнений найдём:

$$N = \frac{mg}{\cos\alpha - \mu \sin\alpha}$$

$$mg\frac{\sin\alpha + \mu\cos\alpha}{\cos\alpha - \mu\sin\alpha} = \frac{mv_0^2}{R}$$

Откуда $\mu = \frac{v_0^2 - gR\,\mathrm{tg}\,\alpha}{gR + v_0^2\,\mathrm{tg}\,\alpha}$

Во втором случае наклона нет. Запишем второй закон Ньютона для автомобиля в проекции на горизонтальную ось OO и вертикальную ось OO (рис. Б):

$$\mu N = m\frac{v_1^2}{R}$$
$$N - mg = 0$$

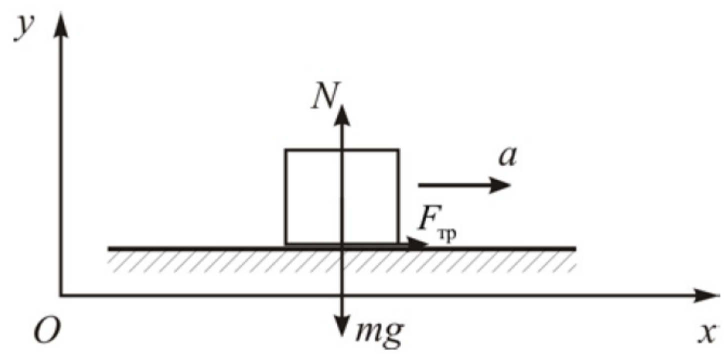


Рис. Б

Из записанных уравнений получим:

$$v_1 = \sqrt{\mu g R}$$

Подставим полученное ранее выражение для коэффициента трения, получим:

$$v_1 = \sqrt{\mu g R} = \sqrt{\frac{v_0^2 - gR\,\mathrm{tg}\,\alpha}{gR + v_0^2\,\mathrm{tg}\,\alpha}gR} \approx 57{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 207\ \text{км/ч}$$

Задача 3. В запаянной с одного конца горизонтально лежащей трубке находится воздух с относительной влажностью φ_0 = 60%, отделённый от атмосферы столбиком ртути длиной l = 74 мм. Атмосферное давление соответствует L_0 = 740 мм ртутного столба. Какой станет относительная влажность φ, если трубку поставить вертикально открытым концом вниз? Температура постоянна, ртуть из трубки при переворачивании не выливается.

Возможное решение.

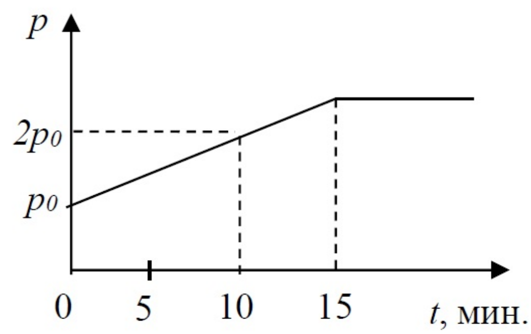
Пусть ρ – плотность ртути, $p_0 = \rho g L_0$ – атмосферное давление.

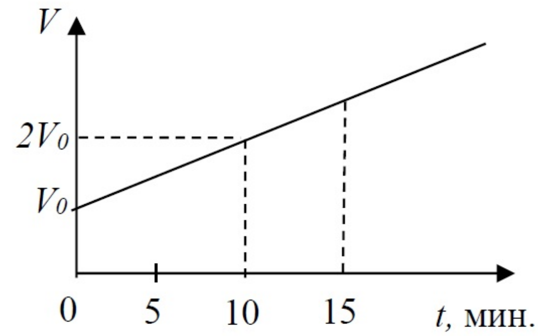
В горизонтальной трубке давление запертого столбика воздуха совпадает с атмосферным, а в вертикальной равно $p_0 - \rho g l = \rho g(L_0 - l)$. Следовательно, давление в трубке изменилось в $(L_0 - l)/L_0$ раз; в такое же количество раз в условиях постоянства температуры должна измениться и плотность – как воздуха, так и водяного пара. Поскольку относительная влажность равна отношению плотности водяного пара к плотности насыщенного водяного пара, относительная влажность тоже изменится в $(L_0 - l)/L_0$ раз и станет равной

$\varphi = \varphi_0 \cdot (L_0 - l)/L_0 = 54\%$.

Ответ: относительная влажность станет равной $\varphi = \varphi_0 \cdot (L_0 - l)/L_0 = 54\%$.

Задача 4. На графиках приведены зависимости от времени t давления p и объёма V одного моля одноатомного идеального газа. Определите, как со временем изменялась теплоёмкость данного количества газа. Постройте график зависимости этой теплоёмкости от времени.





<u>Возможное решение</u>:
В течение первых 15 минут зависимость давления газа от его объёма имеет вид

$$p(V) = \frac{p_0}{V_0}V$$

Пусть в некоторый произвольный момент времени (в интервале от 0 мин. до 15 мин.) давление газа равно p_1, а занимаемый им объём равен V_1. Запишем для процесса перехода из состояния (p_0, V_0) в состояние (p_1, V_1) первое начало термодинамики:

$$C\Delta T = \frac{3}{2}RT + A$$

Здесь C – теплоёмкость одного моля газа в рассматриваемом процессе, – ΔT изменение температуры газа, A – работа, которую совершает газ. Она численно равна площади фигуры под графиком зависимости p(V), и эта фигура – трапеция.
Перепишем последнее выражение, воспользовавшись уравнением состояния $pV = RT$ для одного моля идеального газа:

$$\frac{C}{R}\Delta(pV) = \frac{3}{2}\Delta(pV) + A$$

$$\left(\frac{C}{R} - \frac{3}{2}\right)\Delta(pV) = \left(\frac{C}{R} - \frac{3}{2}\right)(p_1V_1 - p_0V_0) = \frac{1}{2}(p_0 + p_1)(V_1 - V_0)$$

Учтём, что $p_1 = \frac{p_0}{V_0}V_1$. Тогда

$$\left(\frac{C}{R} - \frac{3}{2}\right)\left(\frac{p_0}{V_0}V_1^2 - p_0V_0\right) = \frac{1}{2}(p_0 + \frac{p_0}{V_0}V_1)(V_1 - V_0)$$

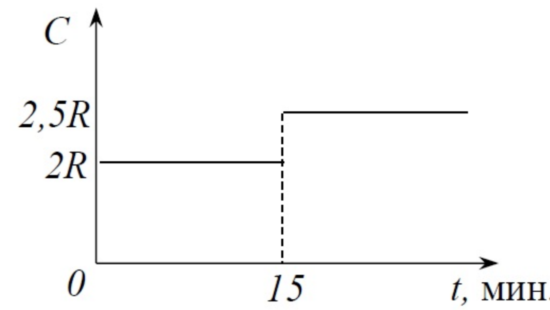
откуда следует:

$$\frac{C}{R} - \frac{3}{2} = \frac{1}{2}; \text{т. е.}\, C = 2R$$

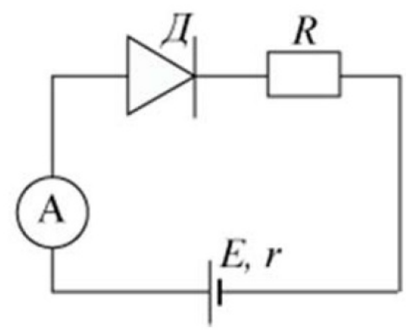
Заметим, что давление p_1 и объём V_1, взятые в произвольный момент времени, при проведении выкладок сокращаются. Это справедливо, в том числе и для двух произвольных состояний газа, разделённых очень малым промежутком времени. Это доказывает, что теплоёмкость в рассматриваемом процессе является постоянной величиной, то есть она будет равна 2R в любой момент в течение первых15 минут.

По истечении первых пятнадцати минут процесс становится изобарическим. Следовательно, при этом $C = \frac{5}{2}R$.

Соответствующий график зависимости теплоёмкости одного моля одноатомного идеального газа от времени изображён на рисунке.



Задача 5. Определите показание идеального амперметра в цепи, схема которой приведена на рисунке. Зависимость силы тока I, протекающего через диод Д, от напряжения U на нём описывается выражением:$I = \propto U^2$, где $\propto = 0{,}02$ А/В^2. ЭДС источника E =50 В. Внутреннее сопротивление источника напряжения и резистора равны r =1 Ом и R=19 Ом, соответственно.



Возможное решение.

Запишем закон Ома для участка цепи, включающего в себя резистор, источник напряжения и амперметр:

$$I(R + r) = E - U$$

где I – сила тока, текущего через диод (и через амперметр), U – напряжение на диоде.

Используя вольт - амперную характеристику диода, получаем:

$$I(R + r) = E - \sqrt{\frac{I}{\alpha}} \quad =>$$

$$\alpha(R + r)^2 I^2 - (2\alpha E(R + r) + 1)I + \alpha E^2 = 0$$

Решая квадратное уравнение, находим:

$$I_0 = \frac{1 + 2\alpha E(R + r) - \sqrt{1 + 4\alpha E(R + r)}}{2\alpha(R + r)^2} = 2A$$

Второй корень квадратного уравнения, соответствующий знаку «+» перед квадратным корнем (3,125 А), не является корнем исходного уравнения. Это можно установить либо при помощи непосредственной подстановки в

указанное исходное уравнение, либо заметив, что сила тока, протекающего через амперметр в данной цепи, не может превышать $I_{max} = \frac{E}{r+R} = 2.5$ А
Примечание: решение задачи выглядит несколько проще, если сразу подставлять в получаемые уравнения числа. Например, перепишем закон Ома в виде:$\alpha U^2(R+r) = E - U$. Корень этого уравнения соответствует пересечению параболы $y_1(U) = \alpha U^2(R+r) = 0.4U^2$
и графика линейной функции $y_2(U) = E - U = 50 - U$
Пересечение происходит в точке с абсциссой U0 = 10 В (это можно установить либо аналитически, решив соответствующее квадратное уравнение, либо графически). При таком напряжении на диоде сила текущего через него тока равна:

$$I_0 = \alpha U_0^2 = 2\ A$$