

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП 2023
9 класс
КЛЮЧИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Задача 1. По прямой дороге движется поток автомобилей с постоянной скоростью 72 км/ч. Известно, что время реакции водителя равно 0,5 с. Какую минимальную дистанцию между автомобилями нужно сохранять водителю, чтобы избежать аварии, если едущая впереди машина остановится мгновенно? Как изменится ответ, если едущая впереди машина начнет тормозить? Считайте, что все автомобили тормозят с постоянным ускорением, равным 8 м/с².

Возможное решение.

а) Вычислим тормозной путь:

$$l_{\text{ост}} = v^2/2a = (72/3,6)^2 / 16 = 25 \text{ м}$$

Осталось учесть тот путь, который пройдет автомобиль до начала торможения:

$$S_p = vt = 20 \cdot 0,5 = 10 \text{ м}$$

Тогда полный путь, пройденный автомобилем с момента остановки предыдущего до момента остановки:

$$l = l_{\text{ост}} + S_p = 35 \text{ м}$$

б) Заметим, что расстояние между автомобилями сначала уменьшается с постоянным ускорением a , затем уменьшается с постоянной скоростью (так как машины тормозят с одинаковым ускорением), а в конце снова уменьшается с постоянным ускорением a . Сначала в течение времени t_p дистанция сокращается с ускорением a , а потому за это время оно уменьшится на

$$S_1 = at_p^2/2$$

Далее разница скоростей (скорость сближения) постоянна и равна начальному значению разности скоростей:

$$\Delta v = at_p$$

И значит, за время остановки переднего автомобиля (то есть за время $t_2 = v - at_p/a$), дистанция сокращается на

$$S_2 = \Delta v t_2 = at_p(v - at_p)/a$$

Наконец, на последнем участке будет торможение с постоянным ускорением a , с начальной скорости $v_3 = v - at_2$:

$$S_3 = v_3^2/2a = (v - at_2)^2/2a$$

В сумме дистанция уменьшится на:

$$l = S_1 + S_2 + S_3 = at_p^2/2 + (vt_p - at_p^2) + (at_p)^2/2a = vt_p = 10 \text{ м}$$

Второй пункт допускает и другое решение. Очевидно, что тормозной путь одинаков, вне зависимости от машины и от начала торможения (и равен 25 м, из предыдущего пункта). Таким образом, чтобы машины не столкнулись достаточно того, чтобы водитель заднего автомобиля начал тормозить в той же точке, что и первый. Это означает, что он должен проехать расстояние, равное дистанции между автомобилями за время реакции: $s_p = 10$ м — из предыдущего пункта. Таким образом $l = 10$ м.

Критерии оценивания

- Определили тормозной путь – 1 балл
- Найден путь, пройденный до начала торможения – 1 балл
- Найден полный путь, пройденный автомобилем с момента остановки предыдущего до момента остановки – 1 балл
- Определена дистанция начального ускоренного сокращения – 2 балла
- Определена дистанция равномерного сокращения – 2 балла
- Определена дистанция конечного ускоренного сокращения – 2 балла
- Найден правильный ответ на вторую часть задачи - 1 балл

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 2. В вертикальном цилиндре неподвижно удерживают два тонких массивных поршня: верхний – массой m , нижний – массой $2m$. Нижний поршень находится на небольшой высоте H от дна цилиндра, расстояние между поршнями равно $L \gg H$. Выше и ниже поршней вакуум, а между ними содержится газ. Поршни одновременно отпускают. Нижний поршень упал на дно цилиндра через время t после отпускания. На какой высоте над дном находился верхний поршень в момент удара нижнего о пол? Ускорение свободного падения g , трения нет, массой газа по сравнению с массой поршней и изменением давления газа при движении поршней можно пренебречь.

Возможное решение.

По 2-му закону Ньютона для верхнего и нижнего поршня

$$mg - F = ma_1 \quad (1)$$

$$2mg + F = 2ma_2, \quad (2)$$

где F – давления газа на поршни.

Перемещение верхнего поршня:

$$\Delta y = a_1 t^2 / 2. \quad (3)$$

Перемещение нижнего поршня:

$$H = a_2 t^2 / 2. \quad (4)$$

Из (2) и (4)

$$F = 2m \left(\frac{2H}{t^2} - g \right)$$

Подставим в (1), и найдем ускорение верхнего поршня

$$a_1 = 3g - \frac{4H}{t^2}$$

Тогда перемещение верхнего поршня

$$\Delta y = \frac{3gt^2}{2} - 2H$$

Окончательно

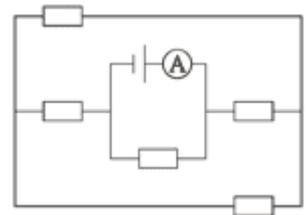
$$h = H + L - \Delta y = 3H + L - \frac{3gt^2}{2}$$

Критерии оценивания

- Вывод из 2-го закона Ньютона соотношения для ускорений поршней - 3 балла.
- Следствия для перемещений - 2 балла.
- Выражения для силы давления, ускорения и перемещения верхнего поршня - 3 балла.
- Нахождение искомой высоты - 2 балла.

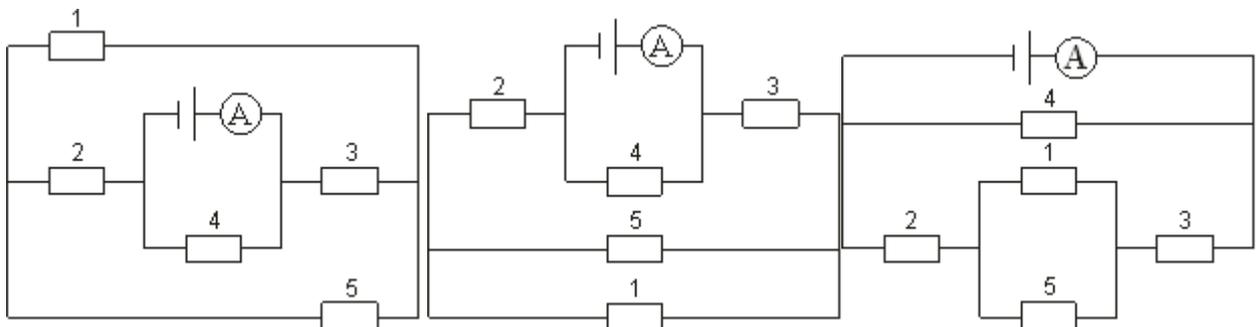
ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 3. Определите показание амперметра в изображенной на рисунке цепи. Напряжение источника $U = 1,5$ В, сопротивление каждого резистора $R = 1$ кОм.



Возможное решение.

Перерисуем схему, чтобы было удобнее определять ее сопротивление.



Резисторы 1 и 5 соединены параллельно, их соединение имеет сопротивление $1/(1/R+1/R) = R/2$. Группа резисторов 1-5 соединена последовательно с резисторами 2 и 3, сопротивление такого соединения $R/2+R+R = 5R/2$. Наконец, группа резисторов 1-2-3-5

соединена последовательно с резистором 4, сопротивление этого соединения равно $R_{общ} = 1/(2/5R + 1/R) = 5R/7$. По закону Ома ток, протекающий через цепь, равен $I = U/R_{общ} = 7U/5R = 2,1$ мА.

Критерии оценивания

- Получена эквивалентная схема – 5 баллов.
- Найдено сопротивление группы резисторов 1 и 5 – 1 балл.
- Определено сопротивление резисторов 2, (1-5) и 3 – 1 балл.
- Найдено общее сопротивление и сила тока в цепи – 3 балла.

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

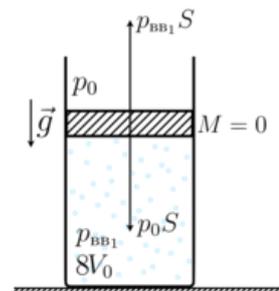
Задача 4. В вертикальном цилиндре под невесомым поршнем находится воздух с относительной влажностью $\varphi=25\%$ при температуре $T=100^\circ\text{C}$. Поршень вдвигают в цилиндр так, что объём под поршнем уменьшается в 8 раз при неизменной температуре. Атмосферное давление $p_0=1$ атм= 10^5 Па.

1. Чему станет равно давление воздуха в цилиндре?
2. Какая часть первоначальной массы пара сконденсируется в воду?

Возможное решение.

1. В задаче явно идёт речь о влажном воздухе. Это смесь сухого воздуха и водяного пара.

2. Пусть $p_{вв1}$ — давление (влажного) воздуха в цилиндре под поршнем до сжатия. Поршень находится в равновесии, поэтому силы, которые на него действуют, компенсируют друг друга. Из условия равновесия следует, что $p_{вв1} \cdot S = p_0 \cdot S$, откуда



$$p_{вв1} = p_0.$$

3. При температуре $T=100^\circ\text{C}$ давление $p_{нп}$ насыщенного пара равно нормальному атмосферному давлению $p_0=10^5$ Па, то есть $p_{нп}=p_0$.

4. Относительная влажность воздуха определяется относительной влажностью содержащегося в нём пара. Выходит, что $\varphi = p_{п1}/p_{нп} = 25\%$, откуда давление пара в начале опыта $p_{п1} = 0,25p_0$.

5. Давление пара не может превышать давление насыщенного пара. При сжатии в 4 раза давление пара станет равным p_0 , и он станет насыщенным. Последующее сжатие ещё в 2 раза будет происходить при неизменном давлении p_0 и сопровождаться

конденсацией пара в воду. Итак, при сжатии в 8 раз пар станет насыщенным, его давление станет равным p_0 , то есть $p_{п2}=p_0$.

6. По закону Дальтона в начале опыта $p_{вв1}=p_{п1}+p_{св1}$, где $p_{св1}$ — давление сухого воздуха в начальном состоянии (до его сжатия). Выходит, что $p_{св1}=p_{вв1}-p_{п1}=p_0-0,25p_0=0,75p_0$.

7. В отличие от пара давление сухого воздуха ничем не ограничено сверху, поэтому при сжатии в 8 раз давление сухого воздуха возрастёт в 8 раз и станет равным $8p_0$, то есть $p_{св2}=8p_0$.

8. По закону Дальтона в конце опыта $p_{вв2}=p_{п2}+p_{св2}=p_0+8p_0=9p_0=9$ атм. Именно таким станет давление влажного воздуха после сжатия в 8 раз.

9. Чтобы разобраться с тем, какая часть α первоначальной массы пара $m_{п}$ сконденсировалась в воду, надо разобрать поведение пара. Вначале он был не насыщен, и его масса была равна $m_{п}$. Затем он стал насыщен, и его масса стала равной $m_{п}-m_{в}$, где $m_{в}$ — масса воды, которая сконденсировалась. Нам следует определить $\alpha=m_{в}/m_{п}$.

10. Уравнение состояния пара в начальном состоянии $p_{п1} \cdot 8V_0 = m_{п} \mu \cdot R \cdot T$, а в конечном состоянии — $p_{пп} \cdot V_0 = (m_{п} - m_{в}) \mu \cdot R \cdot T$. Отношение этих уравнений даёт $m_{п}/(m_{п} - m_{в}) = 8p_{п1}/p_{пп} = 2$, откуда

$$\alpha = m_{в}/m_{п} = 0,5.$$

Критерии оценивания

- Определено, что давление (влажного) воздуха в цилиндре под поршнем до сжатия равно атмосферному – 1 балл
- Отмечено, что давление $p_{пп}$ насыщенного пара равно нормальному атмосферному давлению p_0 – 1 балл
- Найдено, что давление пара в начале опыта – 1 балл
- Отмечено, что при сжатии в 4 раза давление пара станет равным p_0 , и он станет насыщенным. Последующее сжатие ещё в 2 раза будет происходить при неизменном давлении p_0 и сопровождаться конденсацией пара в воду – 2 балла
- Найдено давление сухого воздуха в начальном состоянии (до его сжатия) – 1 балл
- Определено давление сухого воздуха в после сжатия – 1 балл
- Определено давление влажного воздуха после сжатия – 1 балл
- Записаны уравнения состояния пара до сжатия и после – 1 балл

- Определено какая часть первоначальной массы пара сконденсируется в воду
- 1 балл

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ

Задача 5. Одним из методов определения удельных теплоты сгорания органических веществ является использование адиабатической бомбы – толстостенного металлического цилиндра, внутри которого в условиях избытка окислителя (кислорода) происходит полное сгорание вещества. Сам цилиндр помещается в термостат с водой, и для таблеток веществ разной массы с помощью термопары определяется повышение температуры воды в термостате.

При сгорании таблеток разной массы вещества с известной удельной теплотой сгорания (бензойная кислота, $q = 28518$ Дж/г) на термопаре были получены следующие результаты (напряжение пропорционально изменению температуры, 1 В соответствует 123 °С):

m , г	0,25	0,40	0,28	0,60	0,34	0,46	0,71	0,65
ΔU , мВ	1,16	1,42	1,22	1,75	1,38	1,55	1,93	1,84

При сгорании таблеток разной массы неизвестного вещества на термопаре были получены следующие результаты:

m , г	0,25	0,72	0,30	1,14	0,35	0,49	0,43	0,56
ΔU , мВ	2,04	4,23	2,23	4,01	2,55	3,21	2,78	3,38

Задание:

- 1) Построить графики зависимости повышения температуры термостата от массы таблеток для бензойной кислоты и неизвестного вещества.
- 2) Определить теплоемкость термостата (в Дж/К).
- 3) Определить удельную теплоту сгорания неизвестного вещества (в Дж/г).

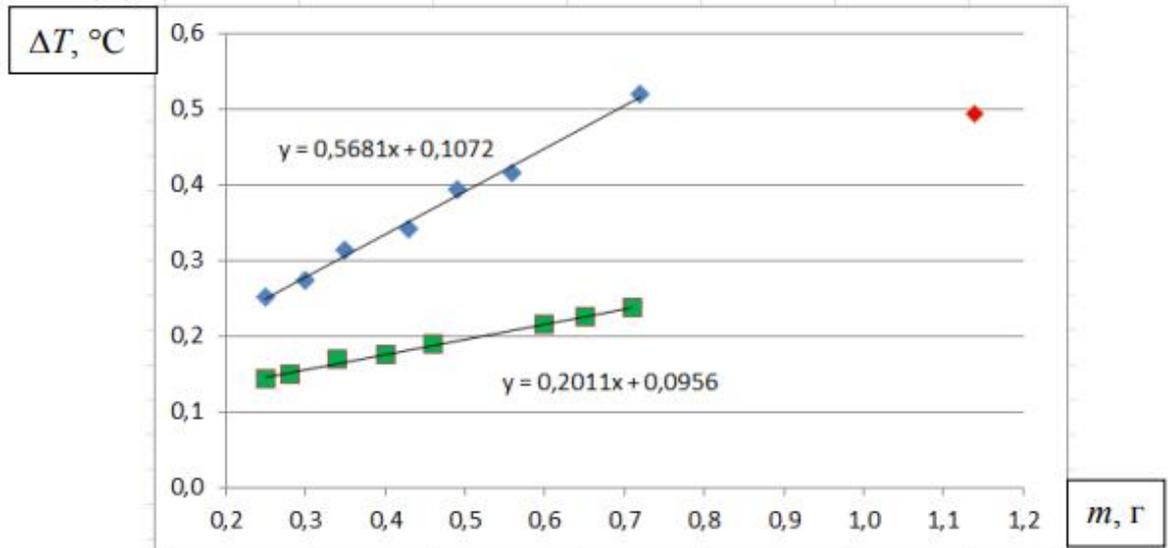
Возможное решение.

1) Пересчитаем напряжение на термопаре в разность температур и построим график $\Delta T(m)$:

m , г	0,25	0,40	0,28	0,60	0,34	0,46	0,71	0,65
ΔU , мВ	1,16	1,42	1,22	1,75	1,38	1,55	1,93	1,84
ΔT , °С	0,142	0,174	0,150	0,215	0,169	0,190	0,237	0,226

$m, \text{г}$	0,25	0,72	0,30	1,14	0,35	0,49	0,43	0,56
$\Delta U, \text{мВ}$	2,04	4,23	2,23	4,01	2,55	3,21	2,78	3,38
$\Delta T, \text{°C}$	0,250	0,520	0,274	0,493	0,313	0,394	0,341	0,415

2) Пусть C – полная теплоемкость термостата, q – удельная теплота сгорания



бензойной кислоты (известная величина), q_x – удельная теплота сгорания неизвестного вещества.

Уравнение теплового баланса для бензойной кислоты:

$$qm = C \cdot \Delta T,$$

откуда $\Delta T = m \cdot (q/C)$ и $C = q \cdot (m/\Delta T) = q/k$, где $k = 0,20 \text{ °C/г}$ – коэффициент наклона прямой. Получаем для теплоемкости $C = 142,6 \text{ кДж/°C}$.

4) Аналогично из уравнения теплового баланса для неизвестного вещества:

$$\Delta T = m \cdot (q_x/C), \text{ или } C = q_x/k_x.$$

Поскольку теплоемкость установки, в первом приближении, сохраняется, то

$$q_x/k_x = q/k, \text{ или } q_x = q \cdot (k_x/k).$$

$$k_x = 0,57 \text{ °C/г}.$$

$$q_x = 28518 \text{ Дж/г} \cdot 0,57 \text{ °C/г} / 0,20 \text{ °C/г} = 81,3 \text{ кДж/г}.$$

Критерии оценивания

- Построены графики зависимости повышения температуры термостата от массы таблеток для бензойной кислоты и неизвестного вещества – 4 балла
- Определена теплоемкость термостата (в Дж/К) - 3 балла
- Определена удельная теплота сгорания неизвестного вещества (в Дж/г) - 3 балла

ВСЕГО: 10 БАЛЛОВ