

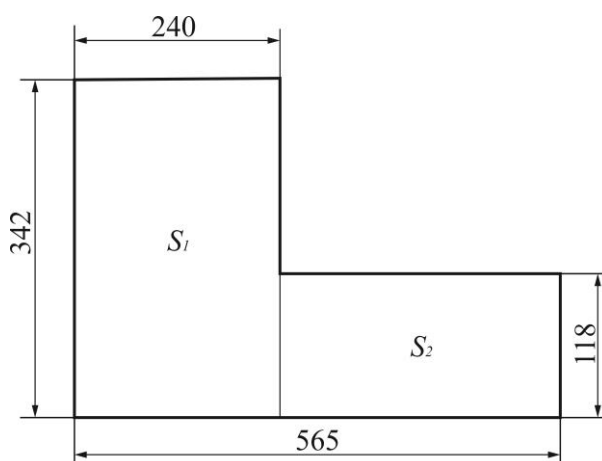
Пермский край
2024-25 учебный год
**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ПО ФИЗИКЕ
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП
9 КЛАСС**

Критерии оценивания

Максимальная оценка за выполнение всех олимпиадных заданий – 50 баллов.

Задание 1. (10 баллов)

Поскольку пылесос имеет круглую форму, то внутренние углы поверхности он очистить не сможет, поэтому необходимо вычислить «эффективную» площадь, вычтя площадь углов. Вычислим площадь всей поверхности, разделив фигуры на два прямоугольника:



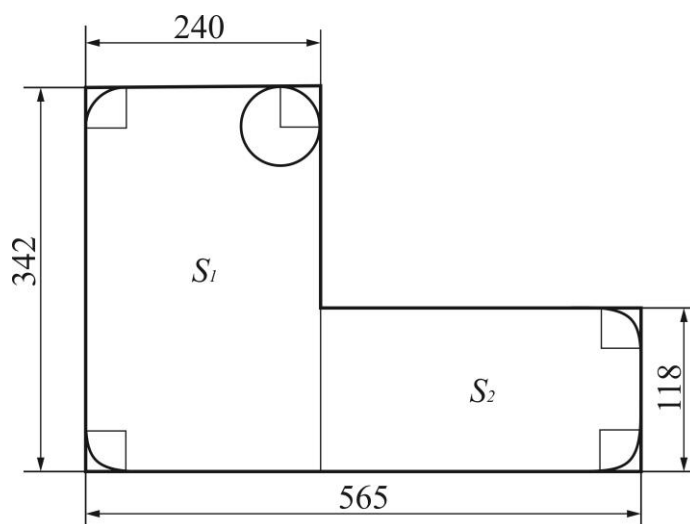
$$S = S_1 + S_2 = 2.4 \cdot 3.42 + 1.18 \cdot (5.65 - 2.4) = 12.043 \text{ м}^2$$

Найдем площадь пяти углов, в которые робот не может попасть. Для этого необходимо вычислить площадь пяти квадратов, стороной которых является радиус робота:

$$S_{\text{кв}} = 5 \cdot 0.2 \cdot 0.2 = 0.2 \text{ м}^2$$

Найдем площадь пяти секторов круга, которые составляют $1/4$ от площади круга:

$$S_{\text{сек}} = 5/4 \cdot \pi \cdot R^2 = 5/4 \cdot 3.14 \cdot 0.2^2 = 0.157 \text{ м}^2$$



Площадь углов:

$$S_{\text{угл}} = S_{\text{кв}} - S_{\text{кв}} = 0.2 - 0.157 = 0.043 \text{ м}^2$$

Тогда эффективная площадь:

$$S_{\text{эфф}} = S - S_{\text{угл}} = 12.043 - 0.043 = 12 \text{ м}^2$$

Затраченная работа:

$$A_z = N * t = 200 * 960 = 192\ 000 \text{ Дж}$$

Полезная работа:

$$A_n = A_0 * S_{\text{эфф}} = 12000 * 12 = 144\ 000 \text{ Дж}$$

КПД пылесоса:

$$\eta = \frac{A_n}{A_z} * 100\% = \frac{144000}{192000} * 100\% = 75\%$$

Зная, что общее время, необходимое для очистки «эффективной» площади равно $t = 16 \cdot 60 = 960 \text{ с}$, можно найти время очистки одного квадратного метра: $t_0 = 80 \text{ с}$.

Ответ: $\eta = 75\%$, $t_0 = 80 \text{ с}$

Критерии оценивания:

- 1 балл – найдена площадь фигуры;
- 3 балла – найдена эффективная площадь поверхности S ;
- 1 балл – найдена затраченная работа A_z ;
- 1 балл – найдена полезная работа A_n ;
- 2 балла – найден КПД η ;
- 2 балла – найдено численное значение времени очистки одного квадратного метра t_0 ;

Задание 2. (10 баллов)

КПД спиртовки определяется отношением полезной работы к затраченной. Полезной работой является количество теплоты Q_1 , необходимое для плавления льда, а затраченной – количество теплоты Q_{c1} , выделенное при сжигании спирта массой m_{c1} :

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_{c1}} * 100\% \Rightarrow Q_{c1} = \frac{Q_1 * 100}{\eta}.$$

Определим количество теплоты Q_1 , необходимое для нагревания воды до температуры плавления $t_{пл} = 0^\circ\text{C}$ и для плавления льда массой m_0 :

$$Q_1 = c_l m_0 (t_{пл} - t_0) + \lambda m_0 = 2100 * 3 * (0 - (-10)) + 3.3 * 10^5 * 3 = 1\,053\,000 \text{ Дж}$$

Количество теплоты, выделенное при сжигании спирта:

$$Q_{c1} = \frac{Q_1 * 100}{\eta} = \frac{1\,053\,000 * 100}{81} = 1\,300\,000 \text{ Дж}$$

Масса спирта, израсходованная при плавлении льда:

$$Q_{c1} = q * m_{c1} \Rightarrow m_{c1} = \frac{Q_{c1}}{q} = \frac{1\,300\,000}{26\,000\,000} = 0.05 \text{ кг}$$

Найдем объем сосуда до сливного отверстия. Сосуд имеет форму цилиндра, поэтому объем сосуда:

$$V = S * h = 0.02 * 0.1 = 0.002 \text{ м}^3$$

Найдем массу воды m_{e1} , способную поместиться в 1 сосуде:

$$m_{e1} = \rho * V = 1000 * 0.002 = 2 \text{ кг},$$

где ρ – плотность воды.

Если в сосуд 1 помещается 2 кг воды, то оставшаяся часть воды выльется во второй сосуд:

$$m_{e2} = m_0 - m_{e1} = 3 - 2 = 1 \text{ кг}$$

Найдем количество теплоты, необходимое для нагревания воды массой m_{e2} до кипения и парообразования $3/4$ массы:

$$Q_2 = c_v m_{e2} (t_{кип} - t_{пл}) + \frac{3}{4} L m_{e2} = 4200 * 1 * (100 - 0) + \frac{3}{4} * 2.6 * 10^6 * 1 = 1\,992\,000 \text{ Дж}$$

Количество теплоты Q_{c2} , выделенное при сжигании спирта массой m_{c2} :

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_{c2}} * 100\% \Rightarrow Q_{c2} = \frac{Q_2 * 100}{\eta} \approx 2\,459\,260 \text{ Дж}$$

Масса спирта, израсходованная при парообразовании воды:

$$Q_{c2} = q * m_{c2} \Rightarrow m_{c2} = \frac{Q_{c2}}{q} = \frac{2\,459\,260}{26\,000\,000} \approx 0.09 \text{ кг}$$

Вся масса спирта m_c :

$$m_c = m_{c1} + m_{c2} = 0.05 + 0.09 = 0.14 \text{ кг}$$

В сосуд 1 сконденсировалась вода, испарившаяся из 2 сосуда. Найдем массу сконденсировавшейся воды:

$$m_{\text{в3}} = \frac{3}{4} * m_{\text{в2}} = \frac{3}{4} * 1 = 0.75 \text{ кг}$$

Общая масса воды в 1 сосуде:

$$m = m_{\text{в1}} + m_{\text{в3}} = 2 + 0.75 = 2.75 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_{\text{с}} = 0.14 \text{ кг}$, $m = 2.75 \text{ кг}$

Критерии оценивания:

- 1 балл – вычислено количество теплоты Q_1 , необходимое для превращения льда в воду;
- 2 балла – найдена масса спирта $m_{\text{с1}}$, необходимая для превращения льда в воду;
- 1 балл – найдена масса воды, которая вылилась из сосуда 1 в сосуд 2 $m_{\text{в2}}$;
- 1 балл – найдена масса воды, которая осталась в сосуде 1 $m_{\text{в1}}$;
- 2 балла – вычислено количество теплоты Q_2 , необходимое для парообразования 3/4 воды в сосуде 2;
- 1 балл – найдена масса спирта $m_{\text{с2}}$, необходимая для парообразования воды;
- 1 балл – найдена конечная масса воды m в сосуде 1;
- 1 балл – найдена начальная масса спирта в спиртовке $m_{\text{с}}$.

Задание 3. (10 баллов)

Число витков N можно найти, зная диаметр проволоки d и длину обмотки. Поскольку ползунок движется с постоянной известной скоростью v , то можно найти длину обмотки. Из графика следует, что время движения ползунка t по всей обмотке составляет 15 с, т.к. дальше сила тока перестала меняться, значит сопротивление в цепи стало фиксированным.

$$N = \frac{L}{d} = \frac{v * t}{d} = \frac{0.02 * 15}{0.4 * 10^{-3}} = 750$$

Сопротивление реостата определяется длиной проволоки l , удельным сопротивлением ρ и площадью поперечного сечения S . Зная радиус обмотки r и количество витков N можно найти длину проволоки:

$$l = 2\pi r * N$$

Поперечное сечение проволоки:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

Сопротивление реостата R :

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{\rho * 2\pi r * N * 4}{\pi d^2} = \frac{8 * \rho * r * N}{d^2} \quad (1)$$

$$R = \frac{8 * 1.7 * 10^{-8} * 0.02 * 750}{(0.4 * 10^{-3})^2} = 12.75 \text{ Ом}.$$

Ответ: $N = 750$, $R = 12.75 \text{ Ом}$

Критерии оценивания:

2 балла – определено время движения ползунка от правого крайнего положения к левому крайнему;

2 балла – определено количество витков N ;

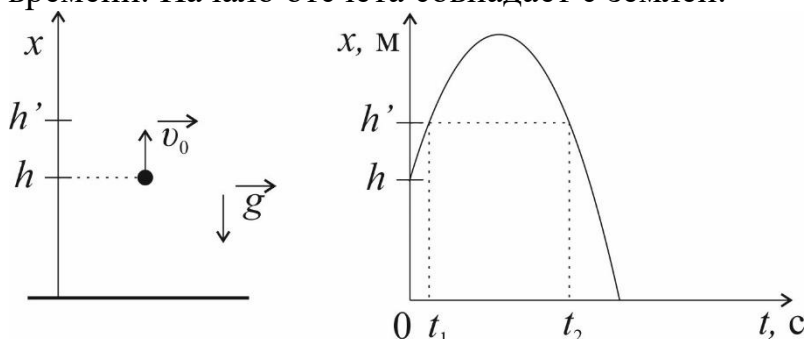
3 балла – найдена длина всей проволоки l ;

1 балл – получена формула для расчета сопротивления реостата (1);

2 балла – найдено сопротивление обмотки.

Задание 4. (10 баллов)

Данная задача имеет два случая: когда отметка выше высоты h , и когда ниже. Рассмотрим случай, когда отметка выше высоты h на 1 метр. Введем координатную прямую вертикально вверх и построим график зависимости координаты от времени. Начало отсчета совпадает с землей.



Уравнение движения выглядит в этом случае следующим образом:

$$x(t) = h + v_0 t - \frac{gt^2}{2};$$

Найдем моменты времени t_1 и t_2 , которые соответствуют отметки h' . Разница этих моментов времени будет равна промежутку времени, когда тело находилось не ниже указанной отметки:

$$t = t_2 - t_1;$$

Подставим известные величины в уравнение движения:

$$h' = h + 10 * t - 5 * t^2;$$

Так как $h' = h + 1$, то получим:

$$h + 1 = h + 10 * t - 5 * t^2;$$

$$1 = 10 * t - 5 * t^2;$$

$$5 * t^2 - 10 * t + 1 = 0; \quad (1)$$

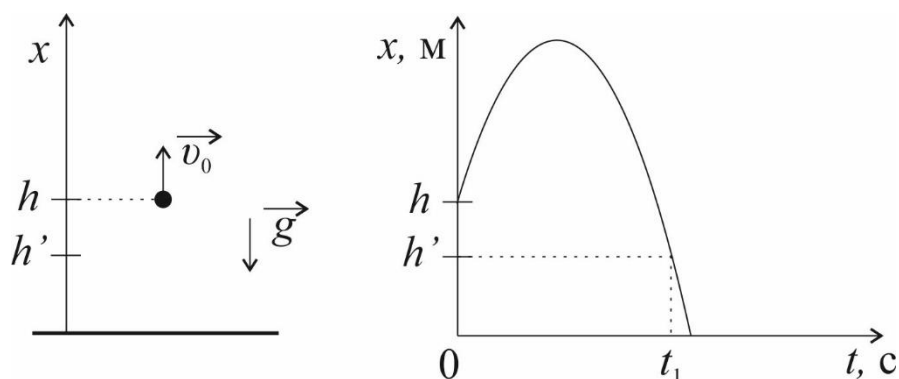
Решая квадратное уравнение, получим корни уравнения:

$$t_1 \approx 1.9 \text{ с}; t_2 \approx 0.1 \text{ с};$$

Тогда время движения:

$$t = t_2 - t_1 = 1.9 - 0.1 = 1.8 \text{ с}.$$

Рассмотрим второй случай, когда отметка ниже высоты h на 1 метр. Введем координатную прямую вертикально вверх и построим график зависимости координаты от времени. Начало отсчета совпадает с землей.



Уравнение движения выглядит так же, как и предыдущем случае:

$$x(t) = h + v_0 t - \frac{gt^2}{2};$$

Поскольку шар в начальный момент времени уже находится выше отметки, то необходимо найти время t_1 , соответствующее моменту, когда шар будет находится ниже отметки. Время t_1 будет равно промежутку времени, когда тело находилось не ниже указанной отметки:

$$t = t_1;$$

Подставим известные величины в уравнение движения:

$$h' = h + 10 * t - 5 * t^2;$$

Так как $h' = h - 1$, то получим:

$$h - 1 = h + 10 * t - 5 * t^2;$$

$$-1 = 10 * t - 5 * t^2;$$

$$5 * t^2 - 10 * t - 1 = 0; \quad (2)$$

Решая квадратное уравнение, получим корни уравнения:

$$t_1 \approx 2.1 \text{ с}; t_2 \approx -0.1 \text{ с};$$

Время t_2 не подходит, тогда время движения:

$$t = t_1 = 2.1 \text{ с}$$

Ответ: $t \approx 1.8 \text{ с}; t \approx 2.1 \text{ с}$

Критерии оценивания:

2 балла – рассмотрено два случая: когда отметка находится выше высоты и ниже высоты шара;

2 балла – получено уравнение (1) для первого случая;

2 балла – найдены моменты времени t_1 и t_2 в первом случае;

1 балл – найдено время движения t шара в первом случае;

2 балла – получено уравнение (2) для второго случая;

1 балл – найдено время движения t шара во втором случае;

Задание 5. (10 баллов)

Поскольку сосуды сверху открыты, то давление, оказываемое на дно каждого колена, одинаковое. Запишем равенство давлений для двух случаев:

$$\rho_1 g H_1 = \rho_2 g h_2 + \rho_1 g (H_2 - h_2)$$

$$\rho_1 g H_1 = \rho_3 g h_3 + \rho_1 g (H_3 - h_3)$$

$$\rho_1 g H_1' = \rho_2 g h_2' + \rho_1 g (H_2' - h_2')$$

$$\rho_1 g H_1' = \rho_3 g h_3' + \rho_1 g (H_3' - h_3')$$

Поделив каждое выражение на g , выразим из каждого уравнения слагаемые, содержащие ρ_2 и ρ_3 :

$$\rho_2 h_2' = \rho_1 (H_1' - H_2' + h_2') \quad (1)$$

$$\rho_3 h_3' = \rho_1 (H_1' - H_3' + h_3') \quad (2)$$

$$\rho_2 h_2' = \rho_1 (H_1' - H_2' + h_2') \quad (3)$$

$$\rho_3 h_3' = \rho_1 (H_1' - H_3' + h_3') \quad (4)$$

Поделим (1) уравнение на (3) и (2) на (4):

$$\frac{h_2'}{h_2'} = \frac{H_1' - H_2' + h_2'}{H_1' - H_2' + h_2'} \quad (5)$$

$$\frac{h_3'}{h_3'} = \frac{H_1' - H_3' + h_3'}{H_1' - H_3' + h_3'} \quad (6)$$

Выразим H_1' из уравнения (5):

$$H_1' = \frac{h_2'}{h_2'} (H_1' - H_2') + H_2' \quad (7)$$

$$H_1' = \frac{6}{4} (14 - 10) + 14 = 20 \text{ см}$$

Подъем жидкости в первом колене:

$$\Delta H = H_1' - H_1 = 20 - 14 = 6 \text{ см}$$

Выразим h_3' из уравнения (6):

$$h_3' = h_3 \frac{H_1' - H_3'}{H_1' - H_3'} \quad (8)$$

$$h_3' = 3 * \frac{20 - 7}{14 - 8} = 6.5 \text{ см}$$

Высота столба жидкости ρ_3 увеличилась на $\Delta h_3 = 3.5$ см, а второй жидкости по условию на $\Delta h_2 = 2$ см. Сосуды цилиндрические, поэтому можем составить отношение объемов жидкостей, которые добавили в сосуды:

$$\frac{V_2}{V_3} = \frac{S \Delta h_2}{S \Delta h_3},$$

где V_2 и V_3 – объемы добавленных жидкостей ρ_2 и ρ_3 соответственно, S – площадь поперечного сечения колена. Найдем объем V_3 :

$$V_3 = \frac{\Delta h_3}{\Delta h_2} * V_2 = \frac{3.5}{2} * 12 = 21 \text{ мл}$$

Ответ: $\Delta H = 6 \text{ см}$, $V_3 = 21 \text{ мл}$

Критерии оценивания:

3 балла – получена формула (7) для нахождения высоты столба H_1 ' жидкости ρ_1 после добавления жидкостей;

2 балла – найдена величина подъема жидкости ΔH .

3 балла – получена формула (8) для нахождения высоты столба h_3 ' жидкости ρ_3 после добавления жидкости;

1 балл – получено численное значение высоты h_3 ';

1 балл – получено численное значение добавленного объема V_3 .