

ФИЗИКА
10 класс

Ключи ответов и критерии оценивания

Задача 1. «По дороге в школу»

Варя ездит в школу на метро. Однажды, наблюдая за приближением поезда, она с помощью секундомера определила, что первый вагон прошёл мимо неё за время $t_1 = 2$ с, а второй вагон – за время $t_2 = 2,1$ с. Когда мимо Вари проходил последний вагон, поезд остановился. Сколько времени прошло того момента, когда поезд начал проходить мимо Вари до полной его остановки? Сколько вагонов в поезде? Все вагоны имеют одинаковую длину, промежутками между вагонами пренебречь. Считать, что измерения, сделанные Варей точны, а поезд, подходящий к станции, движется равнозамедленно.

Возможное решение. Искомое время движения поезда $t = u_0/a$, где u_0 – скорость поезда в тот момент, когда он поравнялся с Варей, а a – его ускорение.

Составим уравнение движения для первого вагона:

$$l = u_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2},$$

для двух вагонов сразу:

$$2l = u_0 (t_1 + t_2) - \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2},$$

где l – длина каждого вагона.

Решая эту систему уравнений, найдём, что

$$t = \frac{u_0}{a} = \frac{t_2^2 + 2t_1 t_2 - t_1^2}{2(t_2 - t_1)} = 44 \text{ с.}$$

Длина поезда, прошедшего мимо Вари за это время $L = at^2/2$, следовательно, число вагонов, которые прошли мимо неё

$$n = \frac{L}{l} = \frac{at^2}{2(u_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2})} = \frac{t^2}{t_1(2t - t_1)} = 11,3.$$

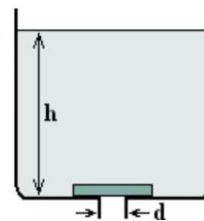
Так как поезд остановился, когда мимо Вари проходил последний вагон, то в составе поезда находилось всего $n = 12$ вагонов.

Критерии оценивания:

- Дана правильная формула для времени движения поезда до его остановки – 1 балл
- Правильно составлены уравнения для прохождения первого и второго вагонов мимо Вари – 1 балла
- Правильно определено время – 3 балла
- Написана правильно формула, для определения длины поезда, прошедшего мимо Вари – 1 балл
- Правильно составлено выражение для нахождения числа вагонов – 2 балла
- Правильно определено число вагонов в поезде – 2 балла

Задача 2. «Ванна Архимеда»

В ванну налили воду до уровня $h = 40$ см и положили на сливное отверстие стеклянный брусок, масса которого равна $m = 640$ г. Диаметр сливного отверстия $d = 4$ см. Вода подтекает под брусок, но очень медленно. Уровень воды не изменится долго. С какой силой брусок давит на дно ванны? Плотность воды $\rho_v = 1000$ кг/м³, плотность стекла $\rho_c = 2500$ кг/м³. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Атмосферным давлением пренебречь. Ответ запишите в единицах СИ с точностью до десятых.



Возможное решение. Необходимо учесть, что на часть бруска, находящуюся над отверстием, действует не сила Архимеда $F_{\text{арх}}$, а вес находящегося над ним столба воды $F_{\text{в}}$. Ведь снизу от бруска воды нет, а сила Архимеда обусловлена разностью давлений воды на разной высоте. На остальную часть бруска действует сила Архимеда.

Сила, с которой брусок высотой x давит на дно ванны определяется как

$$F = F_{\text{тяж}} + F_{\text{в}} - F_{\text{арх}} = N g + q_{\text{в}} g (h - x) S - q_{\text{в}} g (V - S x),$$

где $V = N / q_{\text{с}}$ – объем шайбы, а $S = n d^2 / 4$ – площадь поверхности шайбы, находящейся под сливным отверстием. Отсюда

$$F = N g + \frac{q_{\text{в}} g h n d^2}{4} - \frac{q_{\text{в}} g N}{q_{\text{с}}} = N g \left(1 + \frac{q_{\text{в}} h n d^2}{4 N} - \frac{q_{\text{в}}}{q_{\text{с}}} \right) = 8,9 \text{ Н.}$$

Критерии оценивания:

- Правильно указаны силы, действующие на брусок, и их направление – 2 балла
- Правильно записано выражение для силы Архимеда (учтено, что на часть бруска, находящуюся над отверстием сила Архимеда не действует) – 2 балла
- Правильно записана величина веса вышележащего столба воды – 2 балла
- Получен правильный числовой ответ – 4 балла

Задача 3. «Переохлаждённая жидкость»

Как известно, при атмосферном давлении вода начинает замерзать, а лёд – таять при температуре $t = 0^\circ\text{C}$. Но при соблюдении необходимых предосторожностей вода может быть переохлаждена до более низких температур. Какая часть переохлаждённой до температуры $t_0 = -4^\circ\text{C}$ воды замёрзнет, если бросить в неё ледяную сосульку и вызвать тем самым кристаллизацию? Удельная теплота плавления льда $\lambda = 335 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$, теплоемкость воды $c_{\text{в}} = 4200 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, удельная теплоемкость льда $c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$. Потерями теплоты пренебречь.

Возможное решение. После того, как в переохлаждённую воду бросили сосульку, в воде начался процесс кристаллизации. При образовании из переохлажденной воды льда массой $N_{\text{л}}$ выделится количество теплоты $h N_{\text{л}}$. Эта теплота пойдет на нагревание образовавшегося льда от начальной температуры $t_0 = -4^\circ\text{C}$ до температуры $t = 0^\circ\text{C}$ и нагревание оставшейся после кристаллизации воды массой $N_{\text{в}}$ на $\Delta t = (t_0 - t)$ градусов (дальнейшее нагревание невозможно, так как при 0°C кристаллизация льда прекратится).

Запишем уравнение теплового баланса:

$$h N_{\text{л}} = c_{\text{в}} N_{\text{в}} \Delta t + c_{\text{л}} N_{\text{л}} \Delta t.$$

Если N – начальная масса переохлажденной воды, то

$$h N_{\text{л}} = c_{\text{в}} (N - N_{\text{л}}) \Delta t + c_{\text{л}} N_{\text{л}} \Delta t,$$

откуда

$$\frac{N_{\text{л}}}{N} = \left(1 + \frac{h}{\Delta t c_{\text{в}}} - \frac{c_{\text{л}}}{c_{\text{в}}} \right)^{-1} = 4,9\%$$

Критерии оценивания:

- Показано, что конечная температура в системе равна 0°C – 1 балл
- Правильно составлено уравнение теплового баланса – 5 баллов
- Получен верный числовой ответ – 4 балла

Задача 4. «Последовательное соединение»

Связь между напряжением U на лампе накаливания и силой тока, текущего через неё, даётся формулой $I \sim U^{3/5}$. Две лампы с номинальными напряжениями 220 В и номинальными мощностями $P_1 = 40 \text{ Вт}$ и $P_2 = 100 \text{ Вт}$ включили последовательно в сеть 220 В. Какое напряжение падает на лампе меньшей номинальной мощности?

Возможное решение. Сопротивление ламп увеличивается в рабочем режиме из-за нагревания спирали, поэтому определить сопротивление из номинальных значений мощности и напряжения нельзя. При последовательном соединении ламп

$I_1 = I_2, \quad U = U_1 + U_2. \quad (1)$
 Так как $I = \alpha U^{3/5}$, то первое из этих уравнений запишем в виде $\alpha_1 U_1^{3/5} = \alpha_2 U_2^{3/5}$. Коэффициенты пропорциональности α_1 и α_2 найдем из соотношения между номинальными значениями напряжения и мощности в соответствии с законом Джоуля-Ленца: $P = IU = \alpha U^{8/5}$, откуда $\alpha_1 = P_1 U^{5/8}$ и $\alpha_2 = P_2 U^{5/8}$.

Система уравнений (1) принимает вид:

$$P_1 U_1^{3/5} = P_2 U_2^{3/5}, \quad U = U_1 + U_2.$$

Решая эту систему уравнений, найдем напряжение на лампе мощностью $P_1 = 40$ Вт:

$$U_1 = \frac{U}{(P_1/P_2)^{5/3} + 1} = 181 \text{ В.}$$

Критерии оценивания:

- Правильно составлены соотношения между токами и напряжениями для последовательного соединения ламп – 1 балл
- Показано, что сопротивление ламп в рабочем режиме нельзя определить, используя номинальные значения мощности и напряжения – 2 балла
- Правильно написаны соотношения между номинальными мощностями и напряжением, определен коэффициент пропорциональности в формуле $I \sim U^{3/5}$ – 2 балла
- Правильно записана система уравнений, позволяющая прийти к верному ответу – 2 балла
- Получен правильный ответ – 3 балла

Задача 5. «Столкновение на орбите»

Искусственный спутник Луны массой $M = 8$ кг движется вблизи её поверхности по круговой орбите. Метеорит массой $m = 0,1$ г, летящий со скоростью $v = 40$ км/с, перпендикулярной скорости спутника, попадает в спутник и застревает в нём. На какой угол повернётся из-за этого вектор скорости спутника? Радиус Луны $R = 1740$ км. Ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле.

Возможное решение. Найдём скорость спутника до попадания в него метеорита. В соответствии со 2-м законом Ньютона и законом Всемирного тяготения

$$M \frac{u^2}{R} = G \frac{M_L M}{R^2},$$

где M_L – масса Луны, u – скорость спутника. Отсюда $u = \sqrt{GM_L/R^2}$.

Учитывая, что ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле $g_L = g_3/6$, следовательно, $u = \sqrt{Rg_3/6}$.

Так как скорость метеорита и скорость спутника в момент столкновения взаимоперпендикулярны, то в соответствии с законом сохранения импульса угол поворота вектора скорости спутника можно найти из уравнения

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{p_m}{p_c} = \frac{Nu}{Mu},$$

откуда

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{Nu}{M \sqrt{Rg_3/6}} \right) = 3 \cdot 10^{-4} \text{ рад.}$$

Критерии оценивания:

- Правильно получено выражение для скорости спутника на орбите в общем виде – 1 балл
- Определена скорость спутника через соотношение $g_L = g_3/6$ – 2 балла
- Правильно применён закон сохранения импульса к соударению спутника и метеорита – 2 балла
- Определён угол отклонения спутника из закона сохранения импульса – 2 балла
- Получен правильный числовой ответ – 3 балла