



Решения

Задача 1. (10 баллов) На одном и том же станке производят проволоки из разных металлов. Настроив станок на диаметр проволоки в 0.5 мм^2 , работник его запускает. Чтобы контролировать длину наматываемой проволоки, по ней пропускают небольшой ток. Когда сопротивление всей проволоки достигает необходимого значения, проволока обрезается. Станок завершил работу и обрезал проволоку. Работник увидел, что намотанная на бобышку проволока оказалась слишком длинной. После проверки он обнаружил, что вместо вольфрама с удельным сопротивлением $5,6 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$, он использовал медь, удельное сопротивление которой $1,68 \cdot 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Определите длину получившейся медной проволоки, если длина вольфрамовой должна была равняться трем километрам.

Решение:

Сопротивление находится по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Сопротивление проволок должно быть равным, так как станок обрежет проволоку при достижении этого сопротивления.

Приравняем их:

$$\rho_{\text{В}} \frac{l_{\text{В}}}{S} = \rho_{\text{М}} \frac{l_{\text{М}}}{S}$$

Выразим $l_{\text{М}}$:

$$l_{\text{М}} = \frac{\rho_{\text{В}} \cdot l_{\text{В}}}{\rho_{\text{М}}} = \frac{5,6 \cdot 10^8 \cdot 3000}{1,68 \cdot 10^8} = 10000 \text{ м}$$

Ответ: 10 километров.

Критерии:

Правильно записана формула сопротивления	2 балла
Приравнено сопротивление проволок	5 балла
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	3 балла
ИТОГО	10 баллов

Задача 2. (15 баллов) Ученик на перемене смотрел в окно на ворон. Он заметил, что две птицы, белая и черная вороны летают по окружностям одинакового радиуса. При этом, если они полетят из одной точки так, что белая ворона будет двигаться по часовой стрелке, а черная против, то они встретятся через 6 секунд. За какое время белая ворона обгонит черную на один круг, если они полетят в одну сторону из одной точки? На целый круг черная ворона тратит 13 секунд.

Решение:

Выразим скорость черной вороны, зная время, за которое она делает один круг:

$$L = v_{\text{ч}} t_{\text{ч}}$$
$$v_{\text{ч}} = \frac{L}{t_{\text{ч}}}(1)$$

Длина круга при движении навстречу:

$$L = (v_{\text{ч}} + v_{\text{б}}) t_1 (2)$$

Подставим уравнение (1) в уравнение (2) и выразим скорость белой вороны:

$$L = \left(\frac{L}{t_ч} + v_б\right)t_1, \text{ тогда:}$$

$$v_б = \frac{L}{t_1} - \frac{L}{t_ч} = L\left(\frac{t_ч - t_1}{t_1 t_ч}\right) \quad (3)$$

Запишем длину круга при движении в одну сторону:

$$L = (v_б - v_ч)\tau \quad (4)$$

Подставим в уравнение (4) уравнения (1) и (3), и выразим ответ:

$$L = \left(L\left(\frac{t_ч - t_1}{t_1 t_ч}\right) - \frac{L}{t_ч}\right)\tau$$

$$1 = \left(\frac{t_ч - 2t_1}{t_ч t_1}\right)\tau$$

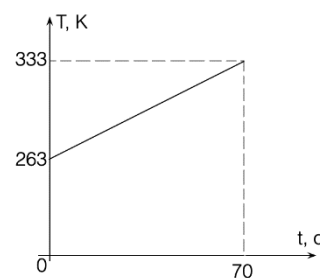
$$\tau = \frac{t_ч t_1}{t_ч - 2t_1} = \frac{78}{13 - 12} = 78 \text{ сек.}$$

Ответ: 78 секунд.

Критерии:

Правильно выражена скорость черной вороны	2 балла
Правильно выражена скорость белой вороны	4 балла
Записано условие обгона на один круг	6 баллов
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	3 балла
ИТОГО	15 баллов

Задача 3. (15 баллов) На лабораторных работах по материаловедению в МГТУ им. Баумана студенты изучали некий материал, нагревая его в печи. Один из студентов построил график, указанный на рисунке. На нем зависимость температуры образца такого материала от времени нагрева. Определите удельную теплоемкость материала, если на печи написана ее мощность 500 Вт, а масса образца, выданного студенту, равнялась 1 кг. Известно, что при работе печи потери составляют 30%.



Решение:

КПД - это отношение полученной работы к затраченной. Запишем:

$$\eta = \frac{P_{\text{мат}}}{P_{\text{печи}}} \cdot 100\% = \frac{cm\Delta t}{tP_{\text{печи}}} \cdot 100\% = 70\%$$

$$c = \frac{\eta t P_{\text{печи}}}{100 \cdot m(t_к - t_н)} = \frac{70 \cdot 70 \cdot 500}{100 \cdot 1 \cdot (333 - 263)} = 350 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Ответ: $350 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Критерии:

Правильно записана формула КПД	4 балла
Правильно найдены величины из графика	2 балла
Записана формула количества теплоты	3 балла
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	6 баллов
ИТОГО	15 баллов

Задача 4. (20 баллов) В сосуд, до краев наполненный холодной водой, имеющей температуру 10°C , быстро и аккуратно опустили шарик из материала плотностью 2800 кг/м^3 , нагретый до температуры 85°C так, что после опускания шарика стакан остался полным. Затем сосуд закрыли крышкой и замерили температуру воды после установления теплового равновесия. Она оказалась равной 35°C . После чего опыт повторили с теми же начальными температурами, что и в первом случае, но в этот раз опускали два шарика. Во втором опыте конечная температура в сосуде стала равной 55°C . Найдите удельную теплоемкость материала шариков. Плотность воды 1000 кг/м^3 , удельная теплоемкость $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$. Теплоемкостью сосуда и крышки пренебречь.

Решение:

Запишем уравнение теплового баланса в первом опыте, учитывая, что из сосуда вытекла некоторая масса воды, по объему равная опущенному шарiku:

$$c_B(m_B - \rho_B V)\Delta t_{B1} = c_M m_M \Delta t_{M1}$$

$$c_B(m_B - \rho_B V)\Delta t_{B1} = c_M \rho_M V \Delta t_{M1} \quad (1)$$

Аналогично запишем уравнение теплового баланса для второго случая:

$$c_B(m_B - 2\rho_B V)\Delta t_{B2} = 2c_M \rho_M V \Delta t_{M2} \quad (2)$$

Из первого уравнения найдем массу воды в калориметре, подставим во второе и найдем удельную теплоемкость материала:

$$m_B = \frac{c_M \rho_M V \Delta t_{M1} + \rho_B V c_B \Delta t_{B1}}{c_B \Delta t_{B1}}$$

$$c_B \left(\frac{c_M \rho_M V \Delta t_{M1} + \rho_B V c_B \Delta t_{B1}}{c_B \Delta t_{B1}} - 2\rho_B V \right) \Delta t_{B2} = 2c_M \rho_M V \Delta t_{M2}$$

$$c_B \left(\frac{c_M \rho_M V \Delta t_{M1}}{c_B \Delta t_{B1}} + \rho_B V - 2\rho_B V \right) \Delta t_{B2} = 2c_M \rho_M V \Delta t_{M2}$$

$$c_B \left(\frac{c_M \rho_M V \Delta t_{M1}}{c_B \Delta t_{B1}} - \rho_B V \right) \Delta t_{B2} = 2c_M \rho_M V \Delta t_{M2}$$

$$\frac{c_M \rho_M \Delta t_{M1} \Delta t_{B2}}{\Delta t_{B1}} - c_B \rho_B \Delta t_{B2} = 2c_M \rho_M \Delta t_{M2}$$

$$c_M \left(\frac{\rho_M \Delta t_{M1} \Delta t_{B2}}{\Delta t_{B1}} - 2\rho_M \Delta t_{M2} \right) = c_B \rho_B \Delta t_{B2}$$

$$c_M = \frac{c_B \rho_B \Delta t_{B1} \Delta t_{B2}}{\rho_M (\Delta t_{M1} \Delta t_{B2} - 2\Delta t_{M2} \Delta t_{B1})} = \frac{4200 \cdot 1000 \cdot 25 \cdot 45}{2800(50 \cdot 45 - 2 \cdot 30 \cdot 25)} = 2250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

Ответ: $2250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$.

Критерии:

Записана формула плотности вещества	2 балла
Замечено, что при опускании шарика из стакана вытекает вода	3 балла
Верно записаны уравнения теплового баланса в первом и втором случаях	7 баллов
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	8 баллов
ИТОГО	20 баллов

Задача 5. (20 баллов) В переохлажденной воде объемом 0,5 литра на дне лежит монета массой 10 грамм. Как только жидкость слегка встряхнули, монетка оказалась единственным очагом нуклеации и на ней стал намораживаться лед. Определите начальную температуру воды, если при достижении нуля градусов монетка начала всплывать? Лед не примерзает к сосуду, плотность льда 900 кг/м^3 , плотность воды 1000 кг/м^3 , плотность материала монеты 9000 кг/м^3 , удельная теплоемкость воды $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$, удельная теплоемкость монетки $430 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$, удельная теплота плавления льда $3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Решение:

Запишем уравнение теплового баланса и выразим Δt :

$$\lambda m_{\text{л}} = c_{\text{в}} m_{\text{в}} \Delta t + c_{\text{м}} m_{\text{м}} \Delta t, \text{ где } m_{\text{в}} = \rho_{\text{в}} V_{\text{в}}$$

$$\lambda m_{\text{л}} = c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V_{\text{в}} \Delta t + c_{\text{м}} m_{\text{м}} \Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\lambda m_{\text{л}}}{c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V_{\text{в}} + c_{\text{м}} m_{\text{м}}}$$

Запишем второй закон Ньютона и найдем массу льда:

$$m_{\text{л}} g + m_{\text{м}} g = \rho_{\text{в}} g (V_{\text{л}} + V_{\text{м}})$$

$$m_{\text{л}} + m_{\text{м}} = \rho_{\text{в}} \left(\frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} + \frac{m_{\text{м}}}{\rho_{\text{м}}} \right)$$

$$m_{\text{л}} = \frac{(1 - \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{м}}})}{(\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{л}}} - 1)} m_{\text{м}} = \frac{\rho_{\text{л}}(\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{в}})}{\rho_{\text{м}}(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})} m_{\text{м}} = 0,08 \text{ кг}$$

Подставим массу льда в уравнение теплового баланса и найдем Δt :

$$\Delta t = \frac{\lambda \frac{\rho_{\text{л}}(\rho_{\text{м}} - \rho_{\text{в}})}{\rho_{\text{м}}(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}})} m_{\text{м}}}{c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V_{\text{в}} + c_{\text{м}} m_{\text{м}}} = \frac{26400}{2100 + 4,3} = 12,55^{\circ}\text{C}$$

Ответ: $-12,55^{\circ}\text{C}$.

Критерии:

Записана формула плотности вещества	2 балла
Правильно записано уравнение теплового баланса и учтено, что монетка в нем участвует	6 баллов
Верно записано условие всплывания монетки	6 баллов
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	6 баллов
ИТОГО	20 баллов

Ситуационная задача

Приемлемая толщина снежного покрова, по которой может проехать спецтранспорт не может превышать 0,15 м. Если толщина покрова больше, то необходимо предварительно расчистить колею шириной 2,5 м. Существует два возможных способа расчистки пути: плавление снега с помощью теплогенератора, работающего на жидком топливе, и механическая уборка снега путем отбрасывания его в стороны с начальной скоростью не менее 15 м/с. Плотность снега 200 кг/м^3 , а его удельная теплота плавления $\lambda = 3,4 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$.

Во сколько раз отличается минимальная мощность, расходуемая на расчистку пути от снега для движения спецтранспорта при двух описанных способах? Определите минимальные затраты мощности для передвижения спецтранспорта, оснащённого наиболее эффективной, из предложенных, системой уборки снега, со скоростью 10 м/с по дороге с высотой снежного покрова 0,8 м.

Решение:

1) Определим мощность устройства для расчистки снега тепловым способом.

Считаем, что снег находится при температуре плавления (0°C), так как спрашивается про минимальную мощность. Энергия, которую затрачивает устройство, равно теплоте плавления снега, которую в свою очередь можно определить, как:

$$Q_1 = \lambda \cdot M,$$

где M — масса снега, от которого нужно избавиться.

Найдем мощность устройства:

$$N_1 = \frac{Q_1}{t} = \frac{\lambda \cdot M}{t}$$

Определяем мощность устройства для расчистки снега механическим способом:

В данном случае энергия, затрачиваемая устройством, полностью переходит в кинетическую энергию снега, которая равна:

$$Q_2 = \frac{M \cdot U_c^2}{2},$$

где U_c — начальная скорость снега.

Мощность данной системы определяется аналогично предыдущему случаю:

$$N_2 = \frac{Q_2}{t} = \frac{M \cdot U_c^2}{2 \cdot t}.$$

Найдем отношение мощностей N_1 и N_2

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{2 \cdot \lambda}{U_c^2} \approx 3 \cdot 10^3.$$

2) Теперь определим мощность N_2 .

Зная плотность снега, определяем его массу:

$$M = V \cdot \rho.$$

Исходя из заданной ширины пути S , определяем объём убираемого снега

$$V = H \cdot L \cdot S$$

Высота убираемого снежного покрова – разница между текущим уровнем снега и максимально допустимым:

$$H = h_2 - h_1$$

Поскольку сам транспорт движется со скоростью V_T , то снег должен убираться с пути

$$L = V_T \cdot t.$$

Тогда масса убираемого снега равна

$$M = \rho \cdot V_T \cdot t \cdot H \cdot S.$$

Мощность

$$N_2 = \frac{Q_2}{t} = \frac{M \cdot U_c^2}{2 \cdot t} = \frac{\rho \cdot V_T \cdot t \cdot H \cdot S \cdot U_c^2}{2 \cdot t} = \frac{\rho \cdot V_T \cdot H \cdot S \cdot U_c^2}{2} = 365625 \text{ Вт} = 365,6 \text{ кВт.}$$

Ответ: Механический способ уборки снега эффективнее в 3000 раз. $N_2 = 365,6 \text{ кВт.}$



Критерии оценивания олимпиадной работы

Профиль: Физика («Профессор Жуковский»)

Предмет: Физика

Класс: 8

Задание 1 (максимальная оценка 10 б.)

Критерий (указать балл по каждому критерию)	Макс. балл
Правильно записана формула сопротивления	2
Приравнено сопротивление проволок	5
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	3

Задание 2 (максимальная оценка 15 б.)

Критерий (указать балл по каждому критерию)	Макс. балл
Правильно выражена скорость черной вороны	2
Правильно выражена скорость белой вороны	4
Записано условие обгона на один круг	6
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	3

Задание 3 (максимальная оценка 15 б.)

Критерий (указать балл по каждому критерию)	Макс. балл
Правильно записана формула КПД	4
Правильно найдены величины из графика	2
Записана формула количества теплоты	3
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	6

Задание 4 (максимальная оценка 20 б.)

Критерий (указать балл по каждому критерию)	Макс. балл
Записана формула плотности вещества	2
Замечено, что при опускании шарика из стакана вытекает вода	3
Верно записаны уравнения теплового баланса в первом и втором случаях	7
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	8

Задание 5 (максимальная оценка 20 б.)

Критерий (указать балл по каждому критерию)	Макс. балл
Записана формула плотности вещества	2
Правильно записано уравнение теплового баланса и учтено, что монетка в нем участвует	6
Верно записано условие всплывания монетки	6
Приведены необходимые математические преобразования и получен верный численный ответ	6

Задание С (максимальная оценка 20 б.)

Критерий (указать балл по каждому критерию)	Макс. балл
Сформулирована расчётная схема (в том числе, графически), выделены и правильно формализованы все необходимые физические законы	5
Составлена система уравнений и математическая модель	5
Верно учтены технические параметры, характеристики и ограничения	5
Проведены расчеты, получен верный ответ, разумный с точки зрения физического смысла	5