

**Решения заданий отборочного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2020/2021
8-9 классы**

Задача 1 (20 баллов).

Металл X и его соединения, несмотря на свою высокую токсичность, широко используются при производстве сплавов, защитных покрытий, химических источников тока и пигментов. Если к горячему раствору нитрата данного металла (соединение А, которое используется в производстве цветного стекла, а также в фотографии) добавить раствор едкого кали (реакция 1), то в результате получится вещество В, используемое в электротехнике для изготовления анодов для аккумуляторов. Полученное вещество В рекомендуется хранить в запаянной ампуле, иначе на воздухе оно превращается в вещество С (реакция 2), не растворимое в воде. Вещество С также можно получить и из раствора вещества А путем сливания его с раствором соединения Y (реакция 3). В соединении содержится 12,5% углерода и 50% кислорода. Если полученное соединение С промыть, высушить и нагреть до 825 К, в результате реакции получится коричневый порошок бинарного соединения D (реакция 4), который на влажном воздухе снова превращается в соединение С (реакция 5).

Если соединение D нагреть в токе водорода, то получится простое вещество X в виде серого порошка (реакция 6). Известно, что вещество X реагирует с хлором при нагревании (реакция 7) с получением соединения E, которое затем способно вступать в реакцию с горячим насыщенным раствором хлорида калия с получением вещества F (реакция 8).

Напишите уравнения описанных процессов. Приведите формулы неизвестных веществ А, В, С, D, E, F, X, Y.

Решение:

Описываемые в задаче свойства металла X позволяют предположить, что металл X – это кадмий. Таким образом, получается:

X – Cd

A – Cd(NO₃)₂

B – Cd(OH)₂

C – CdCO₃, значит, Y содержит CO₃²⁻ группу. Можно предположить, что это Y – (NH₄)₂CO₃. Подтвердим наше предположение расчетом:

$$\omega\%(C) = \frac{12}{96} \cdot 100\% = 12,5\%;$$

$$\omega\%(O) = \frac{16 \cdot 3}{96} \cdot 100\% = 50\%. \text{ Тогда:}$$

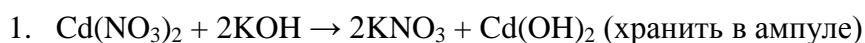
D – CdO

E – CdCl₂

F – KCdCl₃

Y – (NH₄)₂CO₃

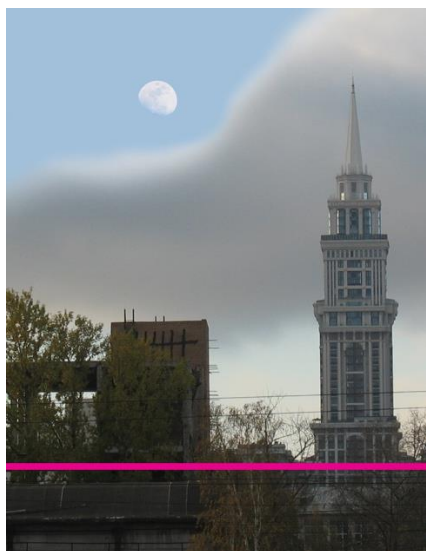
Уравнения описанных процессов:



2. $\text{Cd}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CdCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
3. $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CdCO}_3 + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$
4. $\text{CdCO}_3 \rightarrow \text{CdO} + \text{CO}_2$ (500°C – 600°C)
5. $\text{CdO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CdCO}_3$ (влажный воздух)
6. $\text{CdO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Cd} + \text{H}_2\text{O}$ (350°C – 400°C)
7. $\text{Cd} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CdCl}_2$ (700°C)
8. $\text{CdCl}_2 + \text{KCl} \rightarrow \text{KCdCl}_3$ (при охлаждении до 36,5°C)

Задача 2 (20 баллов).

Вася и Петя едут в одной электричке в разных вагонах. Вася едет в середине первого по ходу движения поезда вагона и видит в окно Луну (точнее, ту ее точку, которая была бы центром лунного диска, если бы в этот день было полнолуние) в направлении, строго перпендикулярном прямолинейному горизонтальному участку железной дороги, по которому движется электричка. Справа от Луны Вася видит высотное здание (см. рисунок). В каком вагоне едет Петя, если в тот же момент времени центр лунного диска для него закрыт шпилем здания? В какую сторону (влево или вправо) едет электричка? На каком расстоянии от железной дороги находится высотное здание? Известно, что высота той части здания, которая на фотографии лежит выше толстой горизонтальной линии в нижней части рисунка, равна приблизительно 160 м.



Решение:

Так как Луна находится гораздо дальше от железной дороги, чем высотное здание (практически бесконечно далеко), Петя тоже видит ее в направлении, перпендикулярном железной дороге. Поскольку в условии задачи сказано, что центр лунного диска закрыт для Пети шпилем здания, шпиль здания Петя видит в том же направлении, что и Луну, т.е. в направлении, перпендикулярном железной дороге.

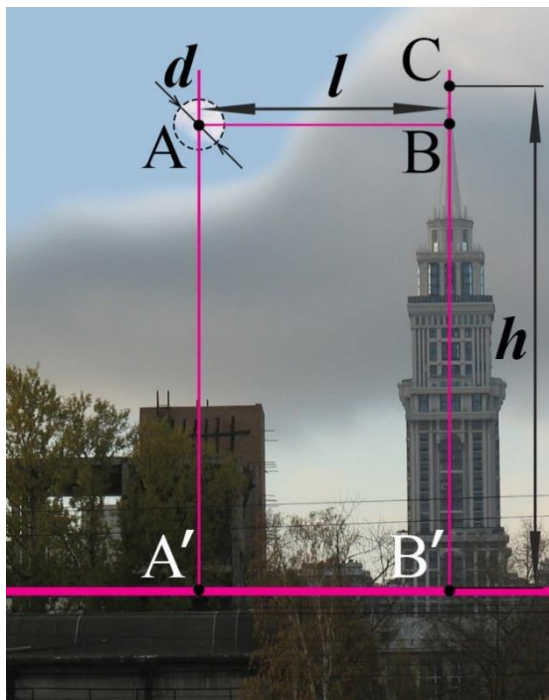


Рисунок 1

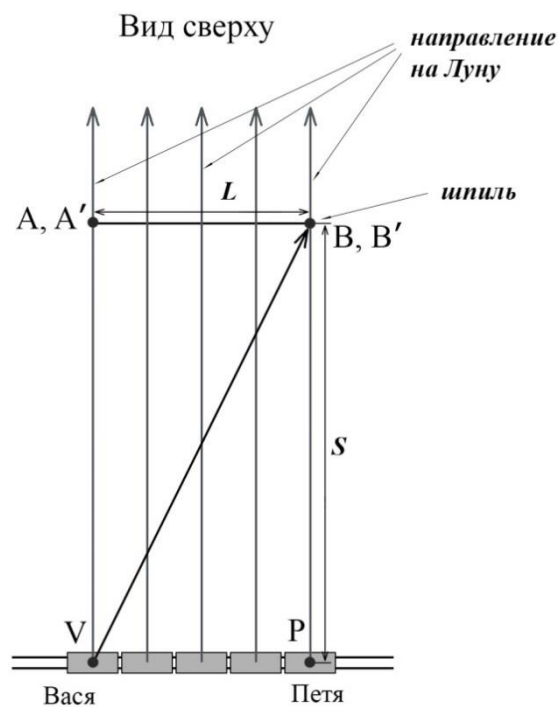


Рисунок 2

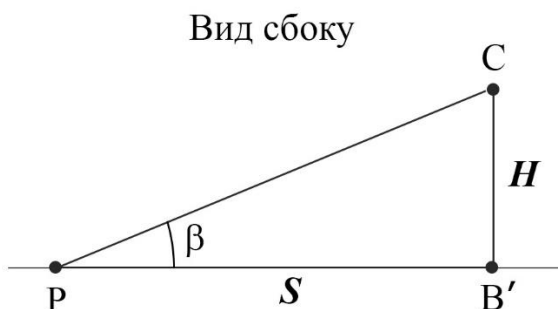


Рисунок 3

На рисунке 1 центр лунного диска совпадает с точкой A пересечения луча, вдоль которого Вася видит центр лунного диска, и вертикальной плоскости, проходящей через ось симметрии шпиля (высшая точка которого обозначена точкой C) параллельно железной дороге; на рисунке 2 эта плоскость проецируется в прямую AB. Из рисунка 1 видно, что $h = 2l = 10d$ (все длины измеряются на рисунке линейкой; масштаб, в котором рисунок распечатывается на бумаге или выводится на монитор, не важен, так как существенным оказывается только отношение измеренных на рисунке длин отрезков). Поскольку $\frac{H}{L} = \frac{h}{l}$, где $H = 160$ м – высота той части здания, которая на фотографии лежит выше толстой горизонтальной линии, а L – расстояние между Васей и Петей, это означает, что расстояние между Васей и Петей равно $|VP| = |A'B'| = L = \frac{H}{2} = 80$ м. Длина w вагона электрички составляет обычно около 20 м; значит, Петя едет в вагоне с номером $(1 + L/w)$, т.е. в пятом вагоне. Из рисунка 2 видно, что для того, чтобы шпиль закрыл Пете лунный диск, Петя должен находиться правее Васи, т.е. первый вагон расположен левее остальных, так что электричка едет влево. Угловой размер α лунного диска составляет около 0,5 градуса, т.е. приблизительно 0,0087 радиана. Следовательно, для углового

размера β верхней (лежащей выше линии) части здания, равного приблизительно $\frac{h}{d}\alpha = 10\alpha$, получаем $\beta \approx 0,087$ радиана, так что расстояние до здания можно оценить как $S = H/0,087 \approx 2$ км (см. рисунок 3; использованное приближение, в котором углы пропорциональны размерам, оправдано вследствие малости углов α и β).

Ответ: Петя едет в пятом вагоне; электричка едет влево; расстояние до здания составляет около 2 км.

Задача 3 (20 баллов).

Для обеспечения горячей водой жилых зданий, не подключенных к централизованной системе горячего водоснабжения, используются электрические водонагреватели с баком, в котором поступающая из водопровода холодная вода нагревается до заданной температуры. Пусть объем бака равен 100 л, а температура воды в нем 75 °С. В течение какого времени запасенная в баке вода позволит поддерживать расход воды 70 г/с при температуре 38 °С, если температура холодной воды, поступающей из водопровода, равна 15 °С?

Решение:

Пусть $\mu = 70$ г/с – требуемый расход воды при температуре $T = 38$ °С, $T_6 = 75$ °С – температура воды в бойлере, $T_x = 15$ °С – температура воды в холодном водопроводе, τ – искомое время поддержания указанного расхода воды. Тогда из уравнения теплового баланса находим, что для получения температуры T воду из холодного водопровода (обозначим ее массу через m_x , а объем – через V_x) и из бойлера (ее масса m_6 , а объем $V_6 = 100$ л) нужно смешивать в пропорции $\frac{V_x}{V_6} = \frac{m_x}{m_6} = \frac{T_6 - T}{T - T_x}$, откуда $V_{\text{общ}} = \frac{\mu\tau}{\rho_{\text{воды}}} = V_x + V_6 = V_6 \left(1 + \frac{V_x}{V_6}\right) = V_6 \frac{T_6 - T_x}{T - T_x}$. Значит, $\tau = \frac{\rho_{\text{воды}} \cdot V_6}{\mu} \cdot \frac{T_6 - T_x}{T - T_x} \approx 3727$ с ≈ 62 минуты

Ответ: 62 минуты.

Задача 4 (20 баллов).

Инженер Алексей Петрович хочет сделать материал, который не подвергается деградации в сильноокислительных средах. Он прочитал в книге, что таким свойством обладают, в частности, композиционные материалы – многокомпонентные материалы, изготавливаемые из двух или более компонентов с существенно разными физическими и химическими характеристиками.

Алексей Петрович взял графит ($\rho_{\text{графита}} = 2$ г/см³) и подверг его высокотемпературному вспениванию, в результате чего получил 2,5 г пористого графитового материала ($\rho_{\text{граф.материала}} = 1$ г/см³). Для дальнейшего проведения опыта ему был необходим еще хотя бы один материал. Коллеги из соседней лаборатории позволили Алексею Петровичу

позаимствовать у них подходящий полимер. Алексей Петрович растворил полимер в ацетоне ($\rho_{\text{ацетона}} = 0,8 \text{ г/см}^3$) и получил раствор с массовой долей полимера 10%. При пропитке пористого графитового материала полученным раствором полимера в ацетоне инженер получил необходимый композиционный материал. Оцените массу полимера, позаимствованного Алексеем Петровичем у своих коллег, если известно, что полимер заполняет весь предоставленный объем графитового материала?

Решение:

Объем пор, который может заполнить раствор полимера, рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{пор}} = V_{\text{граф.материала}} - V_{\text{графита}} = \frac{m_{\text{граф.материала}}}{\rho_{\text{граф.материала}}} - \frac{m_{\text{граф.материала}}}{\rho_{\text{графита}}}$$

$$V_{\text{пор}} = m_{\text{граф.материала}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{граф.материала}}} - \frac{1}{\rho_{\text{графита}}} \right)$$

Поскольку раствор полимера занимает весь объем пор, а плотность раствора полимера для оценки может быть принята равной плотности ацетона,

$$V_{\text{пор}} = \frac{m_{\text{р-ра полимера}}}{\rho_{\text{ацетона}}}, \text{ откуда } m_{\text{полимера}} = m_{\text{р-ра полимера}} \cdot w_{\text{полимера}} \cdot \rho_{\text{ацетона}} \cdot V_{\text{пор}} \cdot w_{\text{полимера}}$$

где $w_{\text{полимера}}$ — массовая доля полимера. Окончательно получаем

$$m_{\text{полимера}} = m_{\text{граф.материала}} \rho_{\text{ацетона}} w_{\text{полимера}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{граф.материала}}} - \frac{1}{\rho_{\text{графита}}} \right) = 0,1 \text{ г}$$

Ответ: 0,1 г.

Задача 5 (20 баллов).

В резьбовые отверстия, сделанные в противоположных стенках квадратной профильной трубы, завернуты два винта (рисунок 1) так, что оси винтов лежат на одной прямой, а расстояние между торцами винтов равно 4,1 мм. Диаметр светлого винта равен 5 мм (рисунок 2), диаметр темного – 6 мм (рисунок 3). Вася повернул отверткой на два оборота по часовой стрелке светлый винт (рисунок 4), а Петя сделал то же самое с темным винтом (рисунок 5). Каким станет после этого расстояние между винтами?

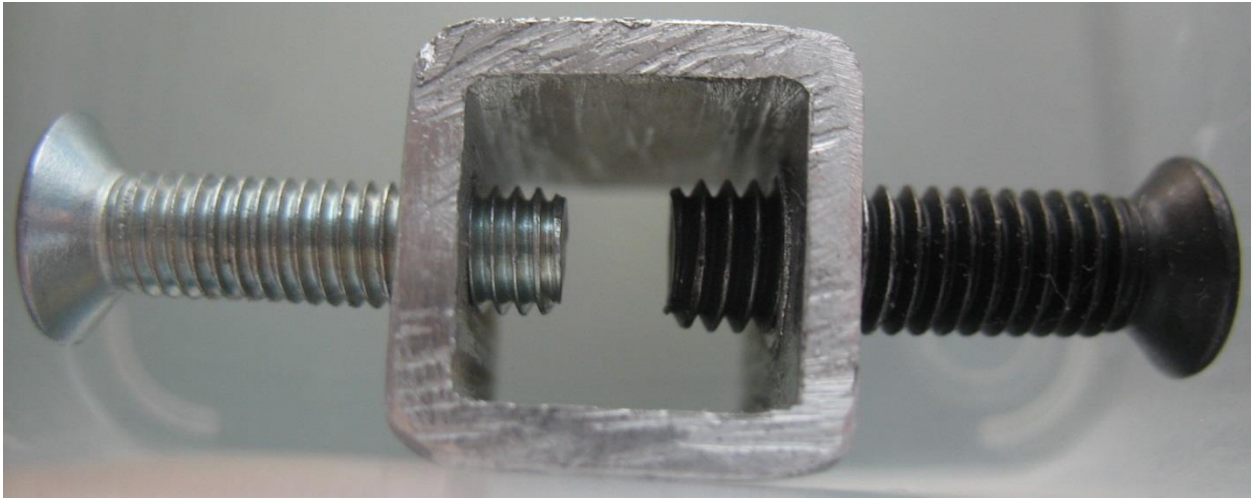


Рисунок 1



Рисунок 2

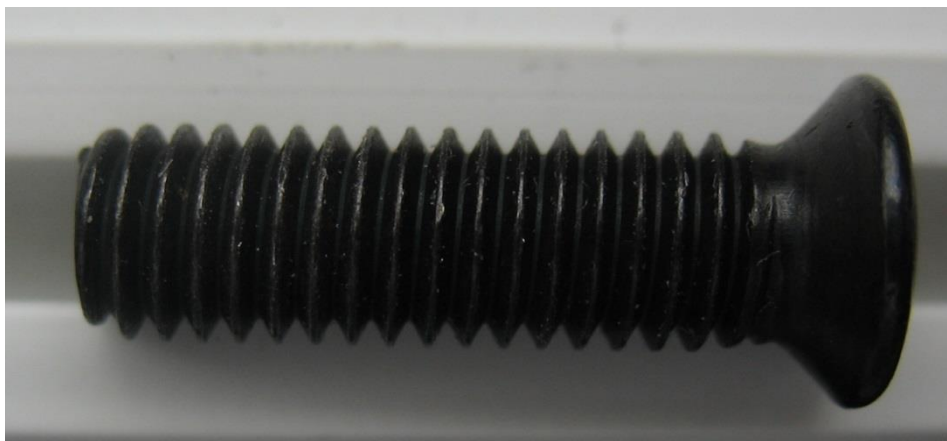


Рисунок 3

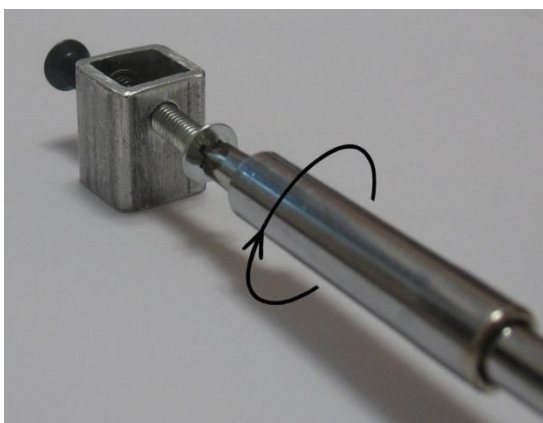


Рисунок 4

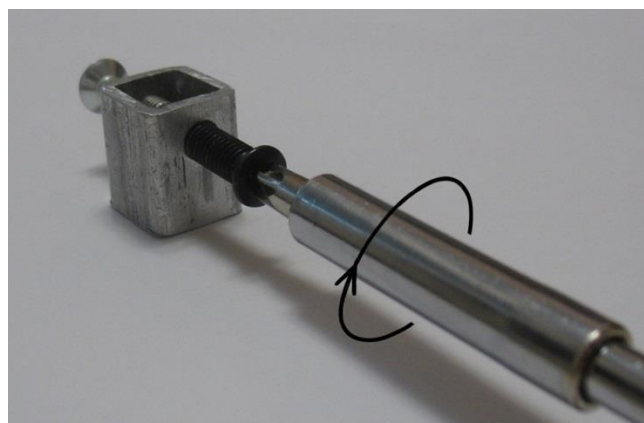


Рисунок 5

Решение:

Из рисунка 2 видно, что вдоль винта на длине, равной его диаметру (5 мм), размещается приблизительно 6 ниток резьбы. Это означает, что шаг резьбы светлого винта равен приблизительно 0,8 мм (на самом деле на длине, равной диаметру этого винта, размещается чуть больше 6 ниток резьбы, так что в действительности шаг резьбы равен 0,8 мм не приближенно, а точно). Точно так же из рисунка 3 видно, что вдоль винта на длине, равной его диаметру (6 мм), размещается приблизительно 6 ниток резьбы. Это означает, что шаг резьбы темного винта равен приблизительно 1 мм (на самом деле шаг резьбы этого винта равен в точности 1,0 мм). Посмотрев на рисунки 2 и 3 (или рисунок 1), можно заметить, что светлый винт имеет правую резьбу, а темный – левую. Это означает, что при вращении отверткой по часовой стрелке, как показано на рисунках 4 и 5, оба винта будут смещаться в одну и ту же сторону (на рисунке 1 – вправо). Поэтому после поворота на два оборота светлый винт сместится на 1,6 мм вправо, а темный – в ту же сторону на 2 мм, т.е. расстояние между ними возрастет на 0,4 мм и станет равным 4,5 мм.

Ответ: 4,5 мм.