

**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 A, которое используется в производстве цветного стекла, а также в фотографии) добавить раствор едкого кали (реакция 1), то в результате получится вещество B, используемое в электротехнике для изготовления анодов для аккумуляторов. Полученное вещество B рекомендуется хранить в запаянной ампуле, иначе на воздухе оно превращается в вещество C (реакция 2), не растворимое в воде. Вещество C также можно получить и из раствора вещества A путем сливания его с раствором соединения Y (реакция 3). В соединении содержится 12,5% углерода и 50% кислорода. Если полученное соединение C 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 C (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 A, B, C, 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 –  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$

B –  $\text{Cd}(\text{OH})_2$

C –  $\text{CdCO}_3$ , значит, Y содержит  $\text{CO}_3^{2-}$  группу. Можно предположить, что это Y –  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ . Подтвердим наше предположение расчетом:

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

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

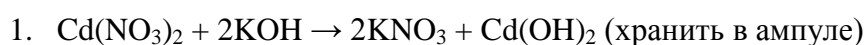
D – CdO

E –  $\text{CdCl}_2$

F –  $\text{KCdCl}_3$

Y –  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

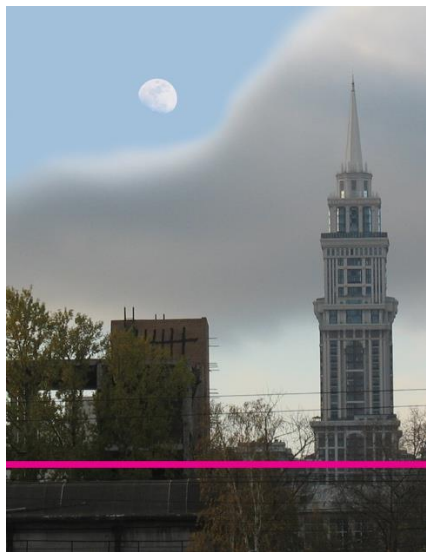
Уравнения описанных процессов:



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.  $\text{CdCO}_3 \rightarrow \text{CdO} + \text{CO}_2$  ( $500^\circ\text{C} - 600^\circ\text{C}$ )
5.  $\text{CdO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CdCO}_3$  (влажный воздух)
6.  $\text{CdO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Cd} + \text{H}_2\text{O}$  ( $350^\circ\text{C} - 400^\circ\text{C}$ )
7.  $\text{Cd} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CdCl}_2$  ( $700^\circ\text{C}$ )
8.  $\text{CdCl}_2 + \text{KCl} \rightarrow \text{KCdCl}_3$  (при охлаждении до  $36,5^\circ\text{C}$ )

**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.

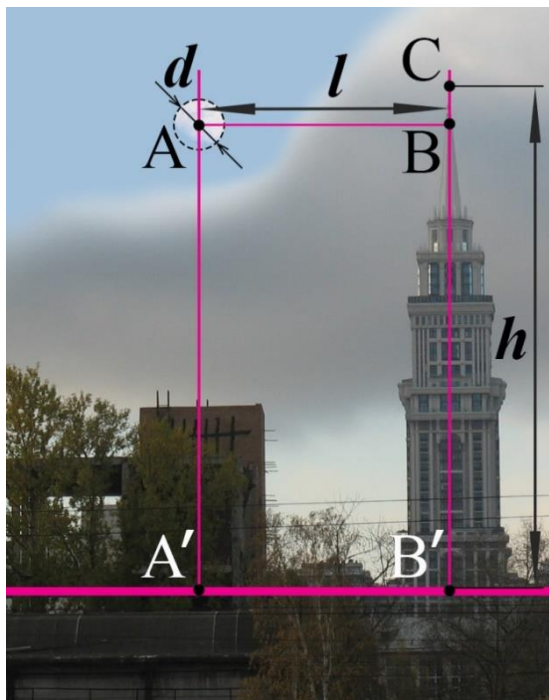


Рисунок 1

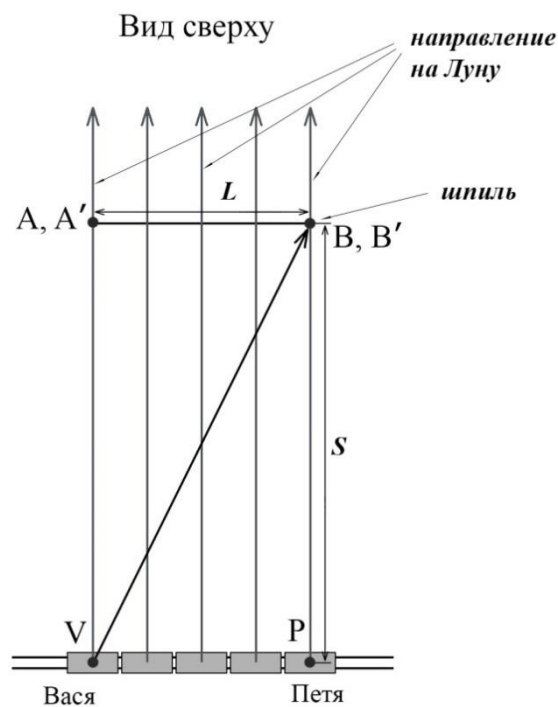


Рисунок 2

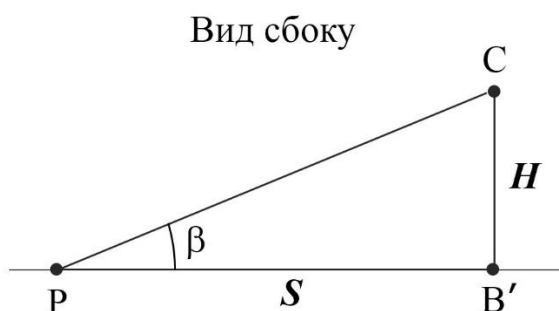


Рисунок 3

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  $\alpha$  лунного диска составляет около 0,5 градуса, т.е. приблизительно 0,0087 радиана. Следовательно, для углового

размера  $\beta$  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  $\alpha$  и  $\beta$ ).

**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,  $\tau$  – 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  $\approx 62$  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/см<sup>3</sup>) и подверг его высокотемпературному вспениванию, в результате чего получил 2,5 г пористого графитового материала ( $\rho_{\text{граф.материала}} = 1$  г/см<sup>3</sup>). 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?

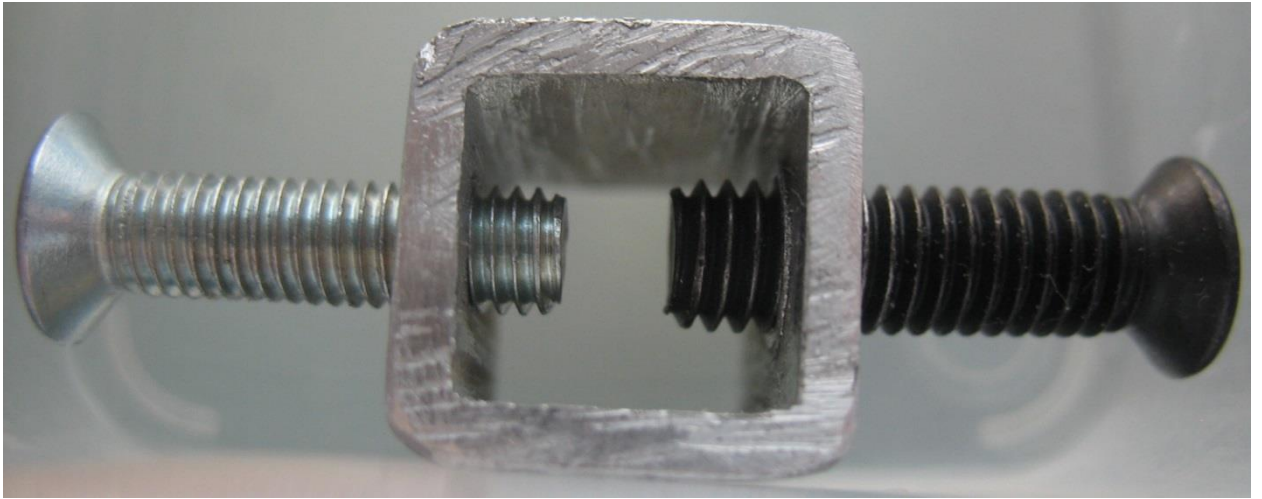


Рисунок 1



Рисунок 2

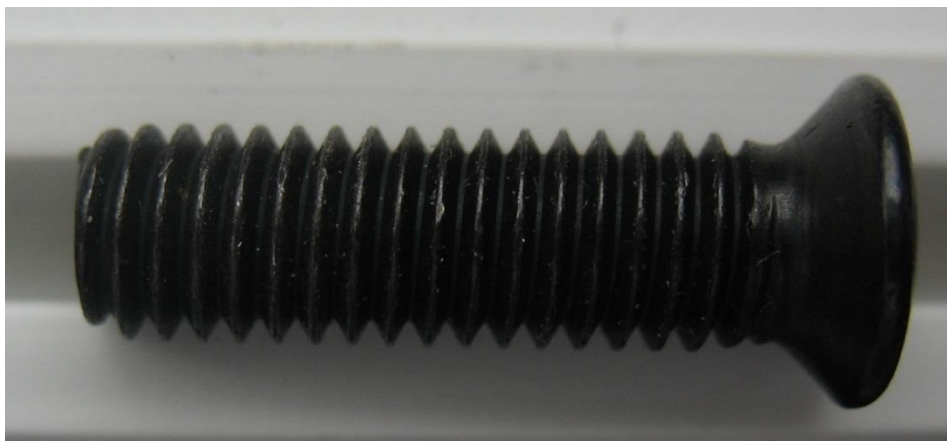


Рисунок 3

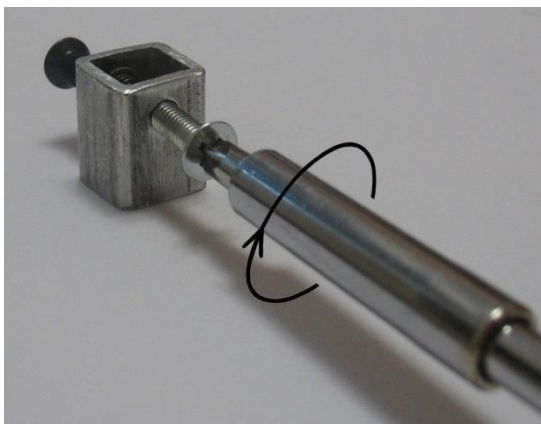


Рисунок 4

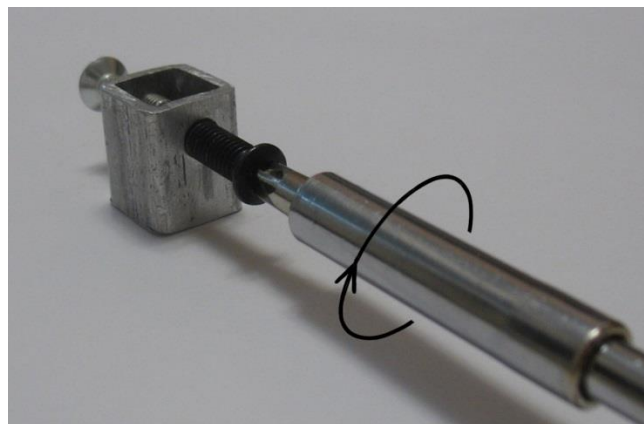


Рисунок 5

**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.**