

**Задания заключительного этапа
Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2016/2017
10-11 классы**

Задача 1 (25 баллов).

Неорганическое вещество А синего цвета, обладающее биоцидным и, особенно, фунгицидным действием, является очень эффективным и широко используемым средством против плесени. Известно, что в его состав входит металл, проявляющий в этом соединении валентность 2, который с давних пор широко используется человеком и не реагирует с соляной кислотой. Вещество А нагрели до температуры T_1 и получили вещество Б голубого цвета, молярная масса которого меньше молярной массы вещества А на 14,4%. Нагревание продолжили, и после достижения температуры T_2 было получено вещество В белого цвета, молярная масса которого меньше молярной массы вещества Б на 16,8%. Затем вещество продолжили нагревать, и при достижении температуры T_3 оно потеряло последнюю молекулу кристаллизационной воды, и было получено вещество Г. Определите вещества А, Б, В, Г. Запишите уравнения реакций. Определите выход конечного продукта Г, если известно, что все реакции шли с одинаковым процентным выходом, численно равным $\frac{\mu(A)}{2,525}$, где $\mu(A)$ - молярная масса вещества А в г/моль. Выход (в процентах) конечного продукта Г округлить до целых. Определите T_1 , T_2 , T_3 , решив соответственно задачи 2, 3, 4.

Решение:

1) Вещество А – медный купорос $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

2) Запишем уравнения описанных реакций в общем виде:



3) Молярная масса медного купороса равна $\mu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250$ г/моль. В ходе реакции а) молярная масса купороса уменьшилась на 14,4% за счет выделившейся воды, значит:

$$5 - x = \frac{\mu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) \cdot 14,4\%}{100\% \cdot \mu(\text{H}_2\text{O})} = 2, \text{ следовательно, } x = 3.$$

Отсюда следует, что вещество Б – это $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Таким образом, реакция а) примет следующий вид:



Температура, при которой протекает реакция а), равна $T_1 = 110$ °С (из задачи № 2).

3) Молярная масса $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ равна $\mu(\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 214$ г/моль. В ходе реакции б) молярная масса $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ уменьшилась на 16,8% за счет выделившейся воды, значит:

$$3 - y = \frac{\mu(\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) \cdot 16,8\%}{100\% \cdot \mu(\text{H}_2\text{O})} \approx 2, \text{ следовательно, } y = 1.$$

Отсюда следует, что вещество В – это $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Таким образом, реакция б) примет следующий вид:



Температура, при которой протекает реакция б), равна $T_2 = 172$ °С (из задачи № 3).

4) При протекании последней реакции $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ теряет последнюю молекулу кристаллизационной воды. Таким образом, реакция в) примет следующий вид:



Следовательно, вещество Г – это CuSO_4 .

Температура, при которой протекает реакция в), равна $T_3 = 273$ °С (из задачи № 4).

5) Молярная масса медного купороса равна $\mu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250$ г/моль, следовательно, процентный выход каждой реакции равен $\eta_1\% = 250 / 2,525 = 99\%$, а процентный выход конечного продукта Г равен $\eta\% = 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 100\% = 97\%$.

Ответ: 97%.

Задача 2 (25 баллов).

Производственный цикл требует сокращения времени термообработки некоего продукта. Для этого его нагревают в воде, доведенной до кипения в герметично закрытой ёмкости. После разгерметизации ёмкости из первоначально залитого в неё $V = 1$ л воды (предполагается, что она была налита до самой крышки) $\Delta m = 20$ г испарилось. До какой температуры была нагрета вода в герметично закрытой ёмкости? Удельная теплоёмкость воды $c_w = 4,2$ Дж/(г·К), удельная теплота парообразования $\lambda = 2,25$ кДж/г.

Решение:

Пусть температура кипения воды в герметически закрытой скороварке превышает $T_0 = 100$ °С на ΔT . Тогда после разгерметизации, т.е. после уменьшения давления до атмосферного, при котором вода кипит при температуре T_0 , при остывании воды выделится энергия $Q = c_w \rho V \Delta T$. В результате испарится вода массой $\Delta m = \frac{Q}{\lambda}$. Отсюда $\Delta T = \frac{\Delta m \lambda}{c_w \rho V} \approx 10$ °С, т.е. $T \approx 110$ °С.

Ответ: 110 °С.

Задача 3 (25 баллов).

Конденсатор ёмкостью $C_0 = 200$ мкФ зарядили до напряжения $U = 1000$ В и подключили параллельно к точно такому же незаряженному конденсатору с помощью медной проволоочки длиной $L = 15$ см и диаметром $d = 0,6$ мм. Половина всей выделившейся при этом энергии пошла на нагревание проволоочки, первоначально имевшей температуру 0 °С. До какой температуры нагрелась проволоочка? Плотность меди $\rho_m = 8,92$ г/см³, её удельная теплоёмкость $c_m = 0,385$ Дж/(г·К).

Решение:

После соединения конденсаторов указанным образом заряд первого конденсатора разделится между ними поровну, поэтому их суммарная электростатическая энергия уменьшится в два раза (для одного конденсатора $E = C_0 U^2 / 2$), так что всего выделится энергия $C_0 U^2 / 4$, а в проволоочке выделится тепловая энергия $Q = C_0 U^2 / 8$. Поскольку масса проволоочки равна $m = \rho_m \pi d^2 L / 4$, повышение её температуры составляет $\Delta T = Q / (m c_m) = 172$ °С.

Ответ: 172 °С.

Задача 4 (25 баллов).

Нагреватель реальной тепловой машины имеет температуру T_n , а её холодильник – температуру $T_x = 0$ °С. Известно, что количество теплоты, получаемое за один цикл холодильником этой машины, в полтора раза больше, чем для идеальной (обратимой) тепловой машины с теми же температурами нагревателя и холодильника (и получающей от нагревателя такое же количество теплоты за один цикл), в результате чего КПД реальной машины в два раза меньше, чем идеальной. Рассчитайте температуру вещества, находящегося в тепловом равновесии с нагревателем тепловой машины, т.е. имеющего температуру T_n .

Решение:

Пусть Q_H – количество теплоты, полученное за один цикл рабочим телом машины от нагревателя, а Q_X и Q'_X – количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику в идеальной и реальной машинах соответственно. Тогда работа, совершенная реальной тепловой машиной, равна $A' = Q_H - Q'_X$, а идеальной – $A = Q_H - Q_X$. По условию задачи $A' = \alpha A$, где $\alpha = 0,5$, а $Q'_X = zQ_X$, где $z = 1,5$. Отсюда имеем равенство $Q_H - zQ_X = \alpha(Q_H - Q_X)$, из которого можно найти отношение $\frac{Q_H}{Q_X} = \frac{z-\alpha}{1-\alpha}$. Но в идеальной тепловой машине $\frac{Q_H}{Q_X} = \frac{T_H}{T_X}$, поэтому $\frac{T_H}{T_X} = \frac{z-\alpha}{1-\alpha}$, т.е. $T_H = \frac{z-\alpha}{1-\alpha} T_X = 546 \text{ К} = 273 \text{ }^\circ\text{С}$.

Ответ: 273 °С.