ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

(для участников)

1 тур

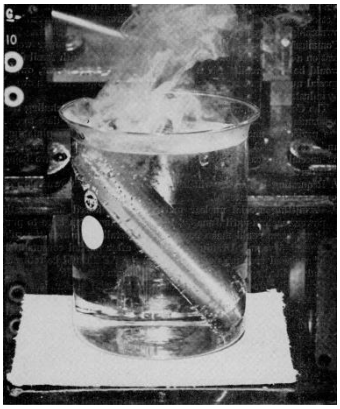
2022–2023

Теоретический тур

Девятый класс

Задача 9-1

Вскипятим воду плутонием!



Энергия радиоактивного распада – очень перспективный вид энергии. Простой способ продемонстрировать её возможности показан на фотографии: на ней кусочек металлического плутония-239 помещен в стакан с водой, которая вскипает в результате нагревания выделяющейся из плутония энергией.

В дальнейших расчетах считайте, что вода нагревается равномерно, а скорость распада плутония постоянна и составляет $5.48 \cdot 10^{11}$ атомов/с на каждый моль ^{239}Pu. Объём воды в стакане равен 2.0 л.

1. Определите продукт ${}^{m}_{n}\mathbf{X}$ распада плутония-239, согласно уравнению:

$$^{239}_{94}\mathrm{Pu} \rightarrow {}^{m}_{n}\mathbf{X} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 506.0\ \text{ГДж/ моль}$$

2. Рассчитайте количество теплоты, выделяющейся каждую секунду из плутониевого цилиндра высотой 15 см и радиусом 2 см.

3. Рассчитайте, сколько часов понадобится для нагрева воды в стакане от 20°C до температуры кипения. Считайте, что на нагрев воды идёт 90% всей выделяющейся теплоты.

4. Энергии радиоактивного распада достаточно и для химических превращений: 3% выделяющейся теплоты тратится на радиолиз воды по уравнению $2H_2O(ж.) \rightarrow 2H_2(г.) + O_2(г.)$. Рассчитайте энтальпию этой реакции, если также известные энтальпии процессов с участием кислорода и водорода:

$H_2(г.) \rightarrow 2H(г.)$	$\Delta_r H_1 = +436.0$ кДж/моль
$2O(г.) \rightarrow O_2(г.)$	$\Delta_r H_2 = -498.4$ кДж/моль
$H_2O(г.) \rightarrow H(г.) + OH(г.)$	$\Delta_r H_3 = +498.9$ кДж/моль
$H(г.) + O(г.) \rightarrow OH(г.)$	$\Delta_r H_4 = -428.2$ кДж/моль

5. Какие количества (моль) гелия, водорода, кислорода и паров воды выделяются за час кипячения воды плутонием в описанном эксперименте?

Справочная информация:

- плотность плутония $\rho = 19.84$ г/см^3;
- 1 ГДж = 10^9 Дж;
- постоянная Авогадро $N_A = 6.02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$;
- теплоемкость воды $c = 4.184$ Дж/(г·°C);
- энтальпия испарения воды $\Delta H_{исп} = +44.0$ кДж/моль;
- объём цилиндра $V = \pi r^2 l$, где l – высота, r – радиус основания.

Задача 9-2

Порошок **A** массой 11.634 г прокалили в инертной атмосфере (***р-ция* 1**). Образовавшийся твердый остаток **B** нагрели в токе аммиака при этом образовался металл **X** массой 9.324 г (***р-ция* 2**). Газовую смесь, выделившуюся в результате прокаливания вещества **A**, охладили до 0 °. При этом масса ее уменьшилась на 0.270 г, а в составе остался только газ **C** (ρ=1.964 г/л при н.у.), который полностью поглощается избытком раствора гидроксида бария, масса выпавшего осадка 5.920 г.

Соединение **A** входило в состав белых красок, которые пользовались большой популярностью из-за их высокой кроющей способности. Однако со временем краски начинали темнеть и даже чернеть из-за образования **L**. Для устранения потемнения поверхность обрабатывают водным раствором **D**. При добавлении в раствор **D** порошка диоксида марганца (***р-ция* 3**) образуются биологически важная жидкость **E** и газообразный двухатомный газ **F**, в котором вспыхивает тлеющая лучина. При взаимодействии **L** и **F** образуется газ **G** (плотность газа равна 2.578 г/л (давление 99.7 кПа, температура 25 °C).

Вопросы:

1) Определите соединения **A** – **G** и **L**. Ответ обоснуйте, подтвердив расчетами.

2) Запишите уравнения реакций **1** – **3**.

3) Объясните потемнение белой краски с пигментом **A** (***р-ция* 4**) и напишите реакцию «реставрации» соединением **D** (***р-ция* 5**).

4) Напишите уравнение реакции прокаливания соединения **A** на воздухе (***р-ция* 6**).

5) При попадании раствора **D** на жёлтые участки при «реставрации» они обесцвечиваются. Определите вещество **K**, отвечающее за желтый цвет на картинах, если известно, что **K** – бинарное соединение с массовой долей одного из элементов 22.19%.

Задача 9-3

«Между молотом и наковальней»

Газообразные при н.у. вещества **X1** и **Y1** участвуют в химических превращениях (схемы 1-4):

1) Нагревание без доступа воздуха:

X1 → X2 (тв) + A(газ) **Y1 → Y2 (тв) + A(газ)**

2) Сгорание в кислороде:

X1 + O_2→ **X3 (газ) + Б(жидк)** **Y1** + O_2→ **Y3(тв) + Б(жидк)**

3) Поглощение концентрированной азотной кислотой:

X1 + HNO_3→ **X4 (р-р) + B(газ)+ Б** **Y1** + HNO_3→ **Y4 (р-р)+ B(газ)+ Б**

Если для этих реакций взять одинаковые массы **X1** и **Y1**, а затем оттитровать полученные растворы гидроксидом кальция то из раствора **X4** образуется осадок **X5**, а из раствора **Y4** осадок **Y5**, массы осадков одинаковы. Небольшая разница в массах (6.62% от большей массы) возникает, если полученные осадки прокаливать до температуры выше 250 °C (прекращение выделения воды), с образованием средних солей **X6** и **Y6**.

4) Механическое сжатие веществ под давлением, вплоть до p = 2 млн. атмосфер:

X1 → X7 + ??? **Y1 → Y7 + ???**

В условиях синтеза **X7** имеет кубическую ячейку с «лёгкими» атомами в серединах всех граней и рёбер, и «тяжёлыми» атомами в центре и вершинах куба. Плотность паров жидкости **Y7** равна 9.05 г/л (175K и давлении 101.3кПа). Вещество **X7**, впервые полученное в 2015 году, обладает уникальной электропроводностью, что стимулировало изучение его аналогов при высоких давлениях. Благоприятная стехиометрия **Y1** заставила проверить и его проводимость при высоком давлении в 2019 году.

Вещества **X1-X7** содержат один общий элемент, вещества **Y1-Y7** – другой. Газообразная смесь равных масс **X1** и **Y1** имеет плотность 1.52 г/л при н.у.

Вопросы:

1. Определите молекулярные формулы 14 неизвестных веществ: **X1 – X7** и **Y1 – Y7**, ответ обоснуйте.
2. Из какого материала изготовлена «наковальня» для сжатия образцов в схеме **4**?

Задача 9-4

Химики изучили состав продуктов реакции металла **X** с веществом **Y** в присутствии различных количеств воды при комнатной температуре. Степень окисления металла **X** в продуктах реакции одинакова во всех опытах. Эксперименты проводили с одинаковыми навесками **X** массой 1.000 г и избытком **Y** в герметичном сосуде. После того, как **X** полностью прореагировал, сосуд слегка подогревали для полного выделения газов из жидкой реакционной смеси, а затем из газовой фазы отбирали пробы, которые анализировали. Во всех экспериментах было установлено наличие трех газообразных продуктов реакции **A**, **B**, **C**, состоящих из одних и тех же двух элементов, смесь газов окрашена. Массы этих продуктов в сосуде после окончания каждого эксперимента приведены в таблице.

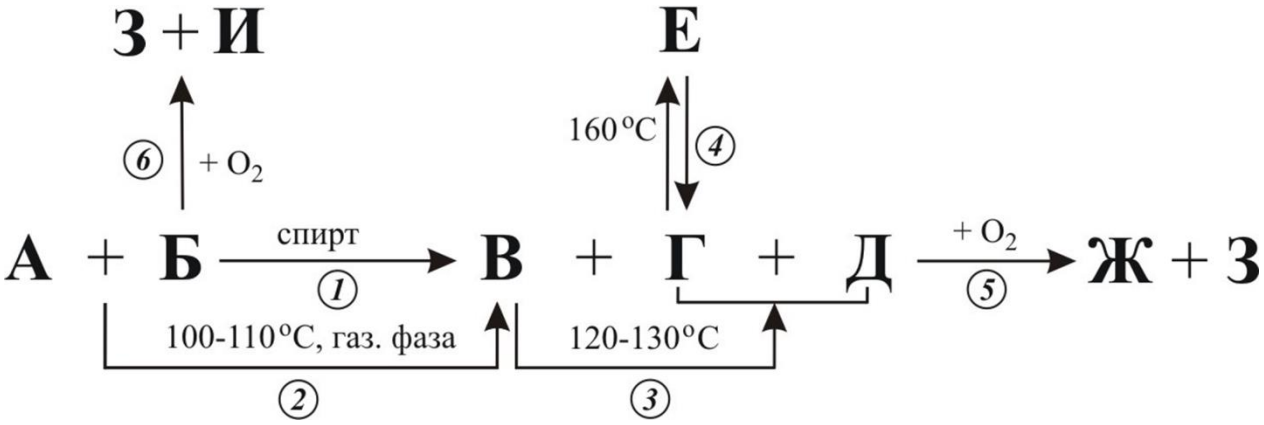
	m(**A**), мг·	*m* (**B**), мг	*m* (**C**), мг
Эксперимент 1	37.4	176.8	209.1
Эксперимент 2	24.7	89.3	253.3
Эксперимент 3	10.2	382.5	214.2

Вопросы:

1. Определите элементы, входящие в состав газообразных продуктов, и формулу вещества **Y**.
2. Определите формулы соединений **A**, **B**, **C**. Ответ подтвердите расчетом.
3. В каком из экспериментов было взято минимальное количество воды, а в каком – максимальное?
4. С помощью расчета определите, какой металл **X** был использован в экспериментах. Запишите уравнения трёх реакций, протекающих в ходе описанных экспериментов, приводящих к образованию **A**, **B** и **C**.
5. При использовании вместо **X** некоторых других металлов среди продуктов реакции можно обнаружить также газы **D** и **E**. Приведите их формулы.

Задача 9-5

На схеме приведены превращения с участием веществ **А-И**:



При взаимодействии бинарных веществ **А** ($t_{кип}$ = –33 °С) и летучей жидкости **Б** в зависимости от условий проведения реакции возможно образование различных продуктов. Так, при реакции в спирте, в качестве продуктов в эквимолярных количествах образуются вещества **В**, **Г** и газ с запахом тухлых яиц **Д** ***(р-ция* 1*)***. При проведении реакции в газовой фазе при температуре 100-110 °С продуктом реакции является только вещество **В** ионного строения ***(р-ция* 2*)***, которое неустойчиво при температуре выше 120 °С и разлагается с образованием эквимолярных количеств веществ **Г** и **Д** ***(р-ция* 3*)***. Дальнейшее нагревание вещества **Г** ионного строения до 160 °С приводит к образованию его изомера[1] – вещества **Е** молекулярного строения ***(р-ция* 4**). В газообразном состоянии вещество **Д** горит на воздухе с образованием двух оксидов **Ж** и **З** (M_r(**Ж**)<M_r(**З**)) (***р-ция* 5**).

Дополнительно известно:

- Вещество **Б** – неполярная жидкость при н.у. При сгорании равных количеств веществ **Д** и **Б** в стехиометрических количествах кислорода (***р-ции 5, 6***) суммарные объёмы образующихся продуктов в газообразном состоянии относятся как 2:3, а плотности образующихся газовых смесей относятся как 1:1.398 (при 150 °С и давлении 1 атм.) соответственно;
- на воздухе вещество **Б** пахнет соединением **Д**;

[1] Изомеры имеют одинаковый качественный и количественный состав, но различное строение.

- молекулярная масса **В** в 6.47 раз больше **А** и в 1.45 раз больше молекулярной массы **Б**;
- молярные массы **Б** и **Е** равны;
- строение вещества **И** аналогично строению **Б;**
- в *реакциях* **1-6** не участвуют другие соединения, кроме веществ **А-И.**

Вопросы:

1) Определите состав и изобразите структурные формулы веществ **А-И**, ответ обоснуйте, подтвердите расчетом или приведите логические рассуждения;
2) Запишите уравнения *реакций* **1**–**6**.