

# **Республиканская олимпиада по химии – 2024**

**Казань, 18–19 января 2024 г.**

**8 класс**

**Авторы заданий Д.Н. Болматенков, И.А. Седов**  
**1 тур**

## **Задание 1.**

### **Дважды два – пять**

Юному химику Герману удалось раздобыть высокочистое простое вещество в виде совершенно одинаковых кубиков. Первым делом он захотел определить массу каждого кубика. Однако дома не было точных весов, и пришлось воспользоваться кухонными весами, которые показывают массу с точностью 1 г, округляя ее значение до ближайшего целого числа. Тем не менее, Герман смог определить массу одного кубика с большей точностью, последовательно взвешивая 1, 2, 3 и 4 кубика:

Число кубиков, шт.	1	2	3	4
Показания весов, г	1	2	4	5

1. На основании проведённых измерений установите минимальную и максимальную возможную массу каждого кубика.
2. Какое минимальное число кубиков необходимо взвесить, чтобы точнее определить диапазон возможных значений массы каждого кубика?

После уточнения массы кубика Герман измельчил и подверг длительному прокаливанию в пламени горелки с поддувом воздуха 4 кубика по отдельности. Затем он последовательно взвесил порошок оксида, полученный из 1, 2, 3 и 4 кубиков:

Число сожженных кубиков, шт.	1	2	3	4
Показания весов, г	2	3	5	7

3. Установите минимальную и максимальную возможную массу оксида, образующегося при сжигании одного кубика.
4. Пользуясь результатами взвешиваний, найдите 3 возможных варианта простых веществ, из которых могут быть сделаны кубики.

Атомы элемента, из которого состоят кубики, имеют два *s*- и два *p*-электрона на внешней электронной оболочке, вследствие чего они обладают полупроводниковыми свойствами.

5. Из чего сделаны кубики Германа?
6. Уточните диапазоны возможных масс одного кубика и образующегося из него порошка оксида, исходя из их химических формул.

## **Задание 2.**

### **Дважды два – четыре**

Бурый газ **A** при охлаждении конденсируется в жидкость **B**, состоящую из молекул со вдвое большей молекулярной массой. При растворении в жидкости **B** металлического цинка образуется соль **C** с массовой долей цинка 34,5% и выделяется газ **D** (*реакция 1*), который самопроизвольно превращается в **A** на воздухе (*реакция 2*).

Во время развития космонавтики жидкость **B** нашла применение в качестве окислителя для ракетного топлива. Ее реакция с гидразином  $N_2H_4$  приводит к образованию двух безопасных для человека и окружающей среды веществ **E** и **F** (*реакция 3*).

В присутствии вещества **F** жидкость **B** образует кислоту **G** и газ **D** (*реакция 4*).

1. Установите формулы веществ **A–G**.

2. Приведите уравнения реакций 1–4.

Великий русский химик Герман Гесс в своем учебнике “Основания чистой химии” писал следующее о вышеупомянутых соединениях:

а) Жидкость **B** – кислота.

б) Никаким способом невозможно добыть безводной кислоты **G**.

в) Кислота **G** в природе всегда бывает соединена с каким-нибудь основанием, исключая дождевой воды.

г) **D** есть газ бесцветный, вредный для дыхания.

д) Крепкая кислота **G** в прикосновении с железом и некоторыми другими металлами на них не действует.

3. Какие из утверждений Гесса а)–д) с точки зрения современной химии верны, а какие нет?

## **Задание 3.**

### **Досортировалась**

Ученица (которая очень просила нас не раскрывать ее имя, поэтому укажем только ее инициалы – А.Б.В.) хотела отсортировать по алфавиту список химических формул с помощью специально написанного ей для этого скрипта:

```
print([".join(sorted(x)) for x in formulaList])
```

Однако в результате его использования были отсортированы все символы в каждой из формул. Например, медный купорос  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  превратился в  $*245CHOOSu$ . Восстановите каждую из исходных формул а)–о).

а) 4BOSa

б) 3CTlm

- в) 4BCOar
- г) 3BNOai
- д) 25CHHO
- е) ()234CEOru
- ж) ()223CCHOu
- з) ()\*2224CHHOOPa
- и) \*22235HNOOSa
- к) ()23CCHOu
- л) \*\*226CCHKMOgll
- м) ()23BCOar
- н) ()\*12224AHKOOSl
- о) 12368ABOSeil

#### **Задание 4.**

#### **Химики и лирики**

Ниже приведены отрывки стихов о химических элементах (автор – Наталья Иванова) и сведения о тех же элементах и их соединениях из научной литературы. Определите эти элементы (замененные в тексте буквами А–И) и запишите уравнения указанных реакций с их участием.

**А:** Взяли атом молибдена,  
Получили атом новый.  
Это чудо, несомненно,  
Раньше не было такого!

Образует соль состава  $\text{KAO}_4$ , являющуюся слабым окислителем. Одно из ранних ошибочных сообщений об открытии этого элемента под названием ильмения было сделано работавшим в России химиком И.Р. Германом.

**Б:** А ещё он говорил,  
Что нашел аквамарин  
В самородной жиле.  
Мне приятель объяснил:  
– В нем живет **Б**.

**Б** аналогичен по химическим свойствам алюминию. Чрезвычайно опасен для человека. Находит применение в атомных реакторах.

**В:** Он активен, даже очень,  
Слишком мягок и непрочен,  
Он нам нужен в медицине,  
Есть он в красках на картине,  
Входит он в состав эмали,  
В хрустале живет в бокале.

**В** образует малорастворимые соли со многими анионами, например, с сульфатом и карбонатом. В одной из старых книг он фигурировал под названием “тяжелец”. Запишите уравнение реакции образования сульфата **В** из растворимой соли.

*Г: Характер у него противный –  
Вовсю частицы испускает.  
И очень вредно находится  
Там, где Г изучают.*

Г – металл, растворяется в соляной кислоте с образованием хлорида, в котором он имеет степень окисления +2, а при сплавлении с щелочными металлами образует соединения, в которых проявляет степень окисления –2. Также способен образовывать хлориды (IV) и (VI).

Запишите уравнение реакции растворения Г в соляной кислоте.

*Д: Мы в Антарктику летали,  
Там замёрз в приборах Д.*

Д – мягкий металл, режется ножом. Его гидроксид (I) является сильным основанием, дает осадок при добавлении соляной кислоты.

Запишите уравнение взаимодействия гидроксида Д с перекисью водорода.

*Е: Братьями семья богата,  
Все активные ребята.  
Самый старший братец – Е,  
Он у нас из иностранцев.*

Е легкоплавок, однако точная температура плавления неизвестна.

Запишите уравнение горения Е на воздухе.

*Ж, З: Вот что ювелир сказал,  
Строгий и взыскательный:  
«Я беру порой Ж  
Даже вместо З.  
Почему? Они похожи,  
Только З дороже!»*

Металл Ж не растворяется в царской водке и не образует растворимых солей с кислотами. В воде растворимы соли, образованные щелочными металлами и высшим оксидом Ж<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, проявляющим кислотные свойства.

Металл З растворяется в царской водке. Наиболее характерные степени окисления +2 и +4.

Запишите уравнение взаимодействия Ж с расплавом гидроксида натрия на воздухе с образованием продукта, в котором число атомов натрия и Ж одинаково.

*И: Веществ есть немало, но этот металл  
Мне в самую душу однажды запал.  
В защите реакторов И у нас*

*Он воин, работник, металл первый класс.*

Известны изотопы И с массовыми числами от 153 до 192. В подавляющем большинстве соединений И проявляет степень окисления +4.

Запишите уравнение реакции горения И в кислороде.

## 2 тур

### Задание 5.

#### Лаборатория начинается с весов

*При решении этой задачи используйте атомные массы элементов с точностью до тысячных!*

В лаборатории имеются чашечные весы. На обе чаши установили стаканы объемом 25 мл и добились их уравновешивания, поместив на правую чашу весов разновесы общей массой 0,750 г. После этого в левый стакан насыпали ровно 0,05000 моль медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , а в правый стакан – 0,1000 моль поваренной соли.

1. Сколько моль пищевой соды  $\text{NaHCO}_3$  необходимо поместить в один из стаканов, чтобы уравновесить весы? В какой стакан – правый или левый – необходимо вносить соду?

В другом опыте с уравновешенными на весах пустыми стаканами в левый стакан налили 15,000 мл воды (плотность при 25 °C 0,997 г/мл), а в правый – 9,000 мл 14,00%-ной серной кислоты с плотностью 1,095 г/мл.

2. Какой объем 10,68%-ного водного раствора кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  с плотностью 1,110 г/мл необходимо добавить в правый стакан, чтобы весы уравновесились?

### Задание 6.

#### Периодическая таблица элементов Тутанхамона

В Древнем Египте жрецы использовали химические процессы при бальзамировании тел и других церемониях, сопровождая их молитвами и заклинаниями. Простые люди испытывали страх перед ними, считая, что они владеют опасными знаниями и тайным искусством. Жрецы использовали секретные символы в своих записях, что усиливало ощущение таинственности. Позже эта традиция перешла к алхимикам.

Ниже приведены сведения о некоторых элементах, вместо названий которых указаны их обозначения, использовавшиеся в Древнем Египте. Установите эти элементы и формулы их упомянутых соединений. Ответы подтвердите расчетами.

1. Свое греческое название элемент  получил в честь острова, на котором его добывали. Согласно мифам, у берегов этого острова появилась из пены богиня

 красоты Венера. Кроме того, из  изготавливали покрытия зеркал. Один из оксидов содержит 88,8% этого элемента по массе.

2. Кристаллическая структура одной из солей металла  сходна с кристаллической структурой льда. 0,282 г осадка этой соли можно осадить из 10,0 мл раствора с концентрацией однозарядных ионов этого металла 0,120 моль/л.

ЛДА:

3. Видео с молотком, сделанным из металла  $\text{Mg}$ , собрало в интернете тысячи просмотров. Другой известный и еще более опасный эксперимент – удар обычным молотком по кристаллам соли этого металла, содержащей 11,2% кислорода, 9,8% азота и 8,4% углерода по массе.

J:

4. Одно из соединений элемента  $\text{J}$ , являющееся сырьем для производства серной кислоты, часто путали с другим элементом, зашифрованным в этой задаче.

J:

Массовая доля  $\text{J}$  в этом соединении составляет 46,55%.

5. Древнеримскую кухню невозможно представить без соли элемента

— S:

. Ее добавляли и в варенья, и в вина, и в соусы. Эта соль содержит в

— S:

своем составе, помимо  $\text{S}$ , 14,77% углерода, 19,67% кислорода и 1,86% водорода по массе.

— Br:

6.  $\text{Br}$  – элемент, который в 1947 году удалось получить путем облучения

— Br:

нейтронами другого зашифрованного в этой задаче элемента. Хлорид  $\text{Br}$  стоит в 1,19 раз дороже, чем бромид той же массы.

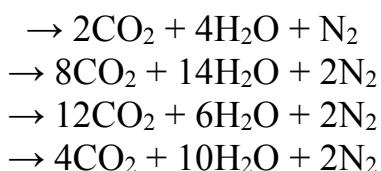


## **Задание 7.** **Пиромания**

Сгорание на воздухе азотсодержащих органических соединений, имеющих общую формулу  $C_xH_yN_z$ , сопровождается образованием углекислого газа, воды и азота.

1. Запишите в общем виде с коэффициентами уравнение реакции взаимодействия  $C_xH_yN_z$  с кислородом с образованием названных продуктов.

Правые части уравнений реакций сгорания некоторых азотсодержащих органических соединений приведены ниже:



2. Восстановите левые части этих уравнений. Если возможно несколько вариантов, то укажите их все. Учтите, что индексы  $x$ ,  $y$  и  $z$  в формулах реально существующих органических соединений  $C_xH_yN_z$  должны соответствовать следующим условиям:

- а) Значение  $y + z$  всегда четно;
- б)  $y \leq 2x + z + 2$ .

3. Запишите формулу газа, который при сгорании даст одинаковые объемы углекислого газа, азота и водяного пара (измеренные при одной и той же температуре).

4. После охлаждения до 0 °C при атмосферном давлении продуктов сгорания 1,00 г некоторого соединения состава  $C_xH_yN_z$  было получено 1,25 мл жидкости и 1,38 л газов. Определите формулу сожженного вещества.

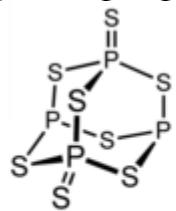
## **Задание 8.** **Непростые структуры**

Фосфор образует множество разнообразных сульфидов, некоторые из которых получают прямым синтезом из простых веществ. Состав ряда сульфидов имеет формулу  $P_4S_n$ .

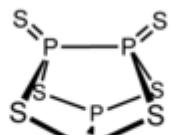
1. Порошок  $P_4S_n$  сожгли в избытке кислорода. Масса порошка при этом почти не изменилась. Установите значение  $n$  в образце и запишите уравнение реакции сгорания.

Большая часть сульфидов фосфора с формулами  $P_4S_n$  содержит одинарные связи P–P и P–S и двойные связи P=S. При этом каждый атом фосфора может образовать

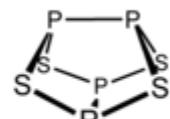
либо три одинарных, либо три одинарных и одну двойную связи. Примеры структур трёх сульфидов фосфора приведены ниже:



1



2



3

2. Запишите формулы изображённых сульфидов 1–3.
3. Какое количество связей каждого из типов ( $P-P$ ,  $P-S$  и  $P=S$ ) содержат сульфиды 1–3?
4. Изобразите структуру сульфида  $P_4S_{10}$ .
5. Нарисуйте вторую возможную структуру без двойных связей для сульфида, имеющего ту же формулу, что и 3.

# Республиканская олимпиада по химии – 2024

Казань, 18–19 января 2024 г.

8 класс

1 тур

## Задание 1.

### Дважды два – пять (17 баллов)

Дополним таблицу диапазоном масс кубиков, которые могли лежать на весах, и определим интервалы масс кубика внутри каждого измерения:

Число кубиков, шт.	1	2	3	4
Показания весов, г	1	2	4	5
Диапазон масс N кубиков, г	0,5 – 1,5	1,5 – 2,5	3,5 – 4,5	4,5 – 5,5
Диапазон масс 1 кубика, г	0,5 – 1,5	0,75 – 1,25	1,17 – 1,5	1,125 – 1,375

Объединяя эти диапазоны, получаем, что масса кубика лежит в интервале (1,1(6); 1,25) г. **(по 1,5 б за верхнюю и нижнюю границу, всего 3 балла)**

Проанализируем, какие показания будут давать весы, если масса кубика равна 1,17 или 1,25 г:

N, шт.	1,17·N	Показания весов	1,25·N	Показания весов
5	5,83	6	6,25	6
6	7,00	7	7,5	7
7	8,17	8	8,75	9

Разница в показаниях весов появляется на **седьмом** кубике. **(2 балла)**

Аналогичным образом установим массу оксида:

Число сожженных кубиков, шт.	1	2	3	4
Показания весов, г	2	3	5	7
Диапазон масс N кубиков оксида, г	1,5 – 2,5	2,5 – 3,5	4,5 – 5,5	6,5 – 7,5
Диапазон масс 1 кубика оксида, г	1,5 – 2,5	1,25 – 1,75	1,5 – 1,83	1,625 – 1,875

Масса оксида находится в диапазоне от 1,625 до 1,75 г. **(по 1,5 б за верхнюю и нижнюю границу, всего 3 балла)**

Из кубика массой от 1,17 г до 1,25 г был получен оксид массой от 1,625 г до 1,75 г. Максимальная массовая доля элемента равна  $1,25/1,625 = 0,77$ , минимальная –  $1,17/1,75 = 0,67$ . Учитывая, что оксиды описываются общей формулой  $\text{Э}_2\text{O}_n$ , определим границы молярной массы элемента для каждого  $n$  посредством решения уравнений:

$$\frac{2M(\text{Э})}{2M(\text{Э})+16n} = 0,77$$
$$\frac{2M(\text{Э})}{2M(\text{Э})+16n} = 0,67$$

Откуда получим, что  $16,2 < M(\text{Э})/n < 26,8$ .

Для  $n = 1$  в указанный диапазон попадает натрий ( $M = 23$ ), однако натрий при сгорании даёт преимущественно пероксид  $\text{Na}_2\text{O}_2$ , к тому натрий достаточно быстро покрывается плёнками окислов.

Для  $n = 2$  в указанный диапазон молярных масс попадает **кальций**.

Для  $n = 3$  подходят **Fe** и **Ga**. Cr подходит лишь частично, поскольку он не горит при температуре обычной горелки).

Для  $n = 8/3$ , соответствующего смешанному оксиду  $\text{M}_3\text{O}_4$ , подходят **Fe** и **Co**.

Для  $n = 4$  – **Ge**, **Se**, **Zr** и **Ru**. Формально сюда также подходит технеций  $\text{Tc}$ , однако ввиду радиоактивности и чрезвычайно малой доступности кубики не могли быть сделаны из него.

Для  $n = 5$  – частично подходит  $\text{Nb}$ .  $\text{Sb}$  не подходит, так как горит с образованием  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ .

Для  $n = 6$  подходящих вариантов нет.

Для  $n = 7$  – **Re**.

Для  $n = 8$  – частично подходит  $\text{Os}$ , образующий оксид  $\text{OsO}_4$ . Однако данный оксид **Любые три элемента, полностью удовлетворяющие условию (Ca, Fe, Ga, Co, Ge, Se, Zr, Ru, Re), с обоснованием – по 1 баллу. Cr, Sb, Os – по 0,5 балла (без обоснования – 0 баллов). Итого 3 балла.**

Среди перечисленных элементов конфигурация внешнего слоя  $s^2p^2$  соответствует германию  $\text{Ge}$ . Кубики сделаны из германия. **(2 балла; без расчёта, аналогичного предыдущему пункту – 0 баллов)**

Оксид  $\text{GeO}_2$  содержит 69,4 % металла по массе. Тогда из 1,17 г кубика можно получить 1,70 г оксида, а из 1,25 г – 1,80 г оксида. Напротив, для получения 1,625 г оксида потребовалось бы 1,13 г металла, а для получения 1,75 г оксида – 1,21 г металла. Сопоставляя новые диапазоны со старыми, получаем, что масса кубика находится в диапазоне от 1,17 до 1,21 г, а масса оксида заключена между 1,70 и 1,75 г. **(по 1 б за верхнюю и нижнюю границу для металла и оксида, всего 4 балла)**

## Задание 2.

### Дважды два – четыре (16 баллов)

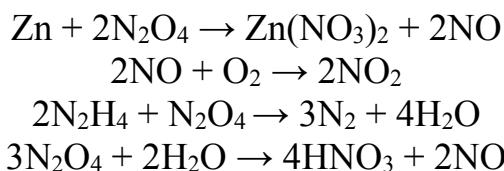
По описанным в задаче свойствам понятно, что А – оксид. Тогда С – соль кислородсодержащей кислоты. Молярная масса С в расчёте на 1 моль цинка равна

$65,4/0,345 = 189,6$  г/моль, что за вычетом цинка даёт остаток 124,2 г/моль. Двухзарядный анион с такой молекулярной массой подобрать сложно, а однозарядный анион с молярной массой около 62 г/моль – это нитрат  $\text{NO}_3^-$ . Тогда С –  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ . А –  $\text{NO}_2$ , В – димер  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Оксид D, легко превращающийся в А – это NO.

При взаимодействии  $\text{N}_2\text{H}_4$  с  $\text{N}_2\text{O}_4$  образуются азот и вода – Е и F.

В  $\text{NO}_2$  и  $\text{N}_2\text{O}_4$  степень окисления азота +4, в то время как в кислотах азот проявляет главным образом степени окисления +3 и +5, поэтому при взаимодействии  $\text{NO}_2$  с водой протекает ОВР и образуются NO и  $\text{HNO}_3$  (G).

**По 1 баллу за каждую верную формулу.**



**По 1 баллу за каждое верное уравнение реакции (неверные коэффициенты – 0,5 б.).**

$\text{N}_2\text{O}_4$  – оксид. Утверждение неверно.

В настоящее время существуют способы получения 100 %  $\text{HNO}_3$ . Утверждение неверно.

Азотная кислота действительно не встречается в природе в свободном виде, если исключить кислотные дожди, зато образует множество минералов–нитратов, называемых селитрами. Утверждение верно.

Описанные физические свойства NO соответствуют действительности. Утверждение верно.

Концентрированная азотная кислота без нагревания действительно не реагирует с некоторыми металлами за счёт образования на поверхности металла защитной плёнки, состоящей из окислов. Данное явление называется пассивацией. Утверждение верно.

Верные: в, г, д

Неверные: а, б

**По 1 баллу за каждое верное соотнесение.**

**Задание 3.**

**Досортировалась (14 баллов)**

- а) 4BOSa –  $\text{BaSO}_4$
- б) 3CTlm –  $\text{TmCl}_3$
- в) 4BCOar –  $\text{BaCrO}_4$
- г) 3BNOai –  $\text{NaBiO}_3$  или  $\text{BaNiO}_3$
- д) 25CHHO –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- е) (0234CEOu -  $\text{Eu}_2(\text{CrO}_4)_3$
- ж) (0223CCHOu –  $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$

- з) 0\*2224CHHOOPa - Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>\*H<sub>2</sub>O
- и) \*22235HNOOSa – Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*5H<sub>2</sub>O (допустим Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>\*3H<sub>2</sub>O)
- к) ()23CCHOu – (CuOH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- л) \*\*226CCHKMOgl – MgCl<sub>2</sub>\*KCl\*6H<sub>2</sub>O
- м) ()23BCOar – Ca(BrO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>
- н) 0\*12224AHKOOSl – KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>\*12H<sub>2</sub>O
- о) 12368ABOSeil – Al<sub>2</sub>Be<sub>3</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>

**По 1 баллу за каждую верную формулу.**

#### **Задание 4.**

#### **Химики и лирики (15 баллов)**

В стихотворении описана ядерная реакция, в результате которой, вероятнее всего, образовался элемент с зарядом ядра на 1 больше или меньше, чем у молибдена. Соседи молибдена по таблице – Nb и Tс. Степень окисления +7 будет характерна для технеция. Само название этого элемента отражает тот факт, что он был получен искусственным путём и не встречается в природе. А – Тс.

Рассмотрение ближайших соседей алюминия по таблице показывает, что на роль Б подходит бериллий: только его название соответствует размеру стихотворения. Б – Be.

В – металл. Указание на растворимость солей и высокую химическую активность позволяет предположить, что это щелочноземельный металл. Описанные сферы применения соответствуют барию. В – Ba.

Уравнение реакции: BaCl<sub>2</sub> + Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → BaSO<sub>4</sub> + 2NaCl (в качестве противоионов к барнию и сульфату могут быть использованы другие ионы, с которыми барий и сульфат-анион дают растворимые в воде соединения; допустимо уравнение реакции в ионном виде)

Г – радиоактивный элемент. Указание на степени окисления –2, +2, +4 и +6 позволяет предположить, что он находится в шестой группе. Эти факты и размер стихотворения позволяют установить, что Г – полоний Po.

Уравнение реакции: Po + 2HCl → PoCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>

В случае Д на стихи хорошо ложится калий, однако его хлорид растворим. Реакция с перекисью указывает на то, что металл может повышать степень окисления, поэтому он может находиться в III группе. Подходящие варианты – галлий и талий, однако только последний образует устойчивые соединения в степени окисления +1. Д – Tl. Уравнение реакции: TlOH + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> → Tl(OH)<sub>3</sub>

Активные простые вещества, твёрдые при комнатной температуре – щелочные металлы. Е – франций, температуру плавления которого трудно определить из-за малой доступности и радиоактивности. Уравнение реакции: Fr + O<sub>2</sub> → FrO<sub>2</sub>

Дорогой металл, растворяющийся в царской водке, относится к благородным металлам. Первый вариант – золото – не подходит по степеням окисления. Среди оставшихся благородных металлов хорошо подходит платина. З – Pt. Второй металл необходимо искать в пятой группе. На рифму к слову «сказал» хорошо ложится tantal. Ж – Ta.



Молярная масса от 153 до 192 соответствует фрагменту таблицы от Gd до Ir. Элемент с характерной степенью окисления +4 имеет смысл искать в IV-й группе. Это гафний. И - Hf. Уравнение реакции:  $\text{Hf} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HfO}_2$

**По 1 баллу за каждый верный элемент, по 1 баллу за верную реакцию.**

## 2 тур

### Задание 5.

#### Лаборатория начинается с весов (12 баллов)

Используя точные значения атомных масс, рассчитаем молярные массы медного купороса, поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ) и пищевой соды:

$$M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 249,683 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{NaCl}) = 58,443 \text{ г/моль}$$

$$M(\text{NaHCO}_3) = 84,006 \text{ г/моль}$$

Содержимое левого стакана имеет массу  $0,05000 \cdot 249,683 = 12,48 \text{ г}$  (1 балл), содержимое правого стакана -  $0,1000 \cdot 58,443 = 5,844 \text{ г}$  (1 балл). Чтобы уравновесить весы, в правый (1 балл) стакан необходимо внести  $12,48 - 5,844 = 6,64 \text{ г}$  соды (1 балл). Количество вещества составит  $6,64/84,006 = 0,0790 \text{ моль}$  (1 балл).

(за более грубое округление масс и количества вещества или расхождение в первых 3-4 значащих цифрах по 0,5 б. При наличии промежуточных расчётов в иной форме и верного ответа за пункт ставится полный балл)

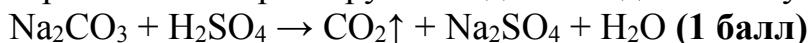
Как и ранее, найдём точные молярные массы веществ, необходимые для дальнейших вычислений:

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 105,988 \text{ г/моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,078 \text{ г/моль}$$

$$m(\text{CO}_2) = 44,009 \text{ г/моль}$$

Массы растворов в левом и правом стакане равны  $15,000 \cdot 0,997 = 14,995 \text{ г}$  (1 балл) и  $9,000 \cdot 1,095 = 9,855 \text{ г}$  (1 балл), соответственно. Необходимо, чтобы масса правого стакана увеличилась на  $5,100 \text{ г}$  (1 балл). Однако стоит учитывать, что серная кислота реагирует с содой с выделением углекислого газа:



Количество вещества серной кислоты составляет  $9,855 \cdot 0,1400/98,078 = 0,01407 \text{ моль}$ . Если считать, что раствор соды добавлен до полной нейтрализации, то количество соды тоже равно  $0,01407 \text{ моль}$ , а её масса составляет  $0,01407 \cdot 105,988 = 1,491 \text{ г}$ , что соответствует массе раствора  $1,491/0,1068 = 13,96 \text{ г}$ . Это более чем вдвое превышает  $5,100 \text{ г}$ , поэтому серная кислота находится в большом избытке. Обозначим количество добавленной соды за  $x$ . Тогда масса раствора увеличится на  $105,988x/0,1068 = 992,397x$ , но уменьшится на  $44,009x$  за счёт выделения газа. Суммарная прибыль составит  $948,388x = 5,100$ , что даёт  $x = 0,005378 \text{ моль}$ . Масса добавленного раствора равна  $5,337 \text{ г}$ , а его объём равен  $5,337/1,110 = 4,808 \text{ мл}$  (3 балла).

(за более грубое округление масс и количества вещества или расхождение в первых 3-4 значащих цифрах каждое значение по 0,5 б, финальное значение 2 б)

### Задание 6.

#### Периодическая таблица элементов Тутанхамона (19 баллов)

Элементов, известных людям с глубокой древности и, соответственно, о существовании которых людям в Древнем Египте было достоверно известно, не так уж много: медь, серебро, золото, ртуть, железо, свинец, олово, углерод и сера.

Элемент **1** – это медь Cu (**2 балла**) (cuprum), названная в честь острова Кипр. Оксид, содержащий 88,8% меди по массе – Cu<sub>2</sub>O (**1 балл**).

Рассчитаем соотношение атомов кислорода, азота и углерода в зашифрованном соединении металла **3**:

$$\text{O:N:C} = 11,2/16 : 9,8/14 : 8,4/12 = 1:1:1.$$

Следовательно, загаданное вещество содержит в своем составе фрагмент ONC. Предположим, что остальная масса в соединении приходится на металл. Тогда состав можно выразить как X(ONC)<sub>n</sub>, а массовая доля металла равна 100-11,2-9,8-8,4 = 70,6%. Тогда молярная масса металла равна (42n/0,294) · 0,706 = 100,9n, что при n=2 дает число, близкое к молярной массе ртути. **3** – Hg (**2 балла**). Зашифрованное соединение – Hg(ONC)<sub>2</sub> (**1 балл**), гремучая ртуть (фульминат ртути) – взрывоопасно.

Для производства серной кислоты, очевидно, используются сульфиды металлов, при сгорании дающие SO<sub>2</sub>, в том числе – пирит FeS<sub>2</sub> (**1 балл**), также известный как «золото дураков» вследствие внешнего сходства с золотом, что также говорит о том, что среди зашифрованных элементов присутствует и золото. Проверка по массовой доле:

$$55,85/(55,85+64,13) = 0,4655$$

подтверждает предположение. **4 – Fe (2 балла)**.

Рассчитаем соотношение атомов кислорода, водорода и углерода в зашифрованном соединении металла **5**:

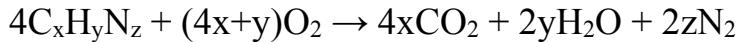
C:H:O = 14,77/12 : 1,86/1 : 19,67/16 = 1:1,5:1 = 2:3:2, что соответствует ацетат-иону (CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>), о существовании которого Вы могли узнать, изучив таблицу растворимости. Остальная масса в соединении приходится на металл. Тогда состав можно выразить как X(OOCCH<sub>3</sub>)<sub>n</sub>, а массовая доля металла равна 100-14,77-1,86-19,67 = 63,70%. Тогда молярная масса металла равна (59n/0,363) · 0,637 = 103,5n, что при n = 2 соответствует молярной массе свинца, **5 – Pb (2 балла)**. Ацетат свинца Pb(OOCCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (**1 балл**) также известен своим сладким вкусом и имеет название «свинцовский сахар». По этой причине его добавляли в пищу.

Количество вещества ионов **2** равно 0,01 л · 0,12 моль/л = 0,0012 моль. Если осадок содержит 1 атом **2** в своем составе, то молярная масса равна 0,282 г/0,0012 моль = 235 г/моль и включает в себя молярную массу однозарядного катиона и однозарядного аниона. Степень окисления +1 могут проявлять Hg, Cu, Ag, Au, однако первые два элемента уже были отгаданы. Если **2** – серебро, то молярная масса однозарядного аниона 235 – 108 = 127 г/моль, что соответствует иодиду I<sup>-</sup>. Согласно таблице растворимости, AgI нерастворим. Тогда **2 – Ag (2 балла)**, соль – AgI (**1 балл**).

Элемент **6**, о котором идет речь, был получен в результате ядерной реакции. В результате таких превращений одни элементы превращаются в другие. Из оставшихся в списке элементов наиболее интересным с точки зрения получения таким образом является **золото (2 балла)**. Как известно, средневековые алхимики пытались получить золото из ртути. В 20 веке это было осуществлено путем ядерной реакции. Золото – достаточно дорогой металл, поэтому стоимость его солей практически пропорциональна содержанию золота в них. 1 г AuCl (**1 балл**) содержит 0,85 г золота, а 1 г AuBr (**1 балл**) – 0,71 г.  $0,85/0,71 = 1,2$ , что соответствует условию.

### **Задание 7.**

#### **Пиромания (15 баллов)**

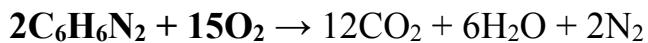
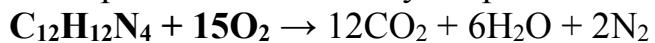


**(3 балла за уравнение в общем виде)**

В первом уравнении левая часть без учёта кислорода имеет формулу  $C_2H_8N_2$ , что может соответствовать либо  $1C_2H_8N_2$ , либо  $2CH_4N$ . Последний вариант противоречит правилу **a** из условия задачи, поэтому верный вариант -  **$C_2H_8N_2 + 4O_2$** .

Во втором уравнении левая часть без учёта кислорода имеет формулу  $C_8H_{28}N_4$ , что может соответствовать либо  $1C_8H_{28}N_4$ , либо  $2C_4H_{14}N_2$ , либо  $4C_2H_7N$ . Только последний вариант удовлетворяет правилу **b** из условия задачи. Тогда левая часть имеет вид  **$4C_2H_7N + 15O_2$** .

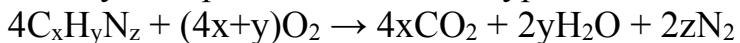
В третьем уравнении левая часть без учёта кислорода имеет формулу  $C_{12}H_{12}N_4$ . Возможные варианты:  $1C_{12}H_{12}N_4$ ,  $2C_6H_6N_2$ ,  $4C_3H_3N$ . Коэффициент перед кислородом в каждом случае равен 15:



В четвёртом уравнении левая часть без учёта кислорода имеет формулу  $C_4H_{20}N_4$ , что может соответствовать либо  $1C_4H_{20}N_4$ , либо  $2C_2H_{10}N_2$ , либо  $4CH_5N$ . Только последний вариант удовлетворяет правилу **b** из условия задачи. Тогда левая часть имеет вид  **$4CH_5N + 9O_2$** .

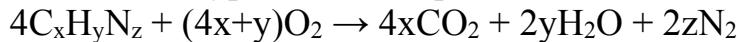
**(1 балл за каждую восстановленную левую часть; итого до 6 баллов за пункт)**

Воспользуемся ранее записанным уравнением сгорания:



Если в результате сгорания вещества получились равные объёмы углекислого газа, азота и водяного пара, то  $4x = 2y = 2z$  или  **$2x = y = z$  (соотношение индексов – 1 балл)**. Вещество имеет формулу  $CH_2N_2$ : ввиду небольшой молекулярной массы соединение газообразно. Удвоение индексов даст формулу  $C_2H_4N_2$ , однако вещества с такой формулой уже не будут газами. Верный ответ – диазометан  $CH_2N_2$  (верная формула – 1 балл).

Вновь запишем уравнение сгорания в общем виде:



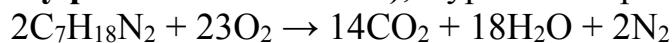
Газы в продуктах реакции –  $4xCO_2$  и  $2zN_2$ , а жидкость –  $2yH_2O$ . Её масса 1,25 г, а количество вещества  $1,25/18 = 0,0694$  моль. Суммарное количество газов равно  $1,38/22,4 = 0,0616$  моль. Выразим молярную массу вещества как  $(12x + y + 14z)$ . Тогда количество сгоревшего вещества будет равно  $1/(12x + y + 14z)$ . С учётом уравнения реакции получим соотношения:

$$\frac{1}{4(12x + y + 14z)} = \frac{0,0694}{2y}$$
$$\frac{4x + 2z}{4(12x + y + 14z)} = 0,0616$$

Или, после преобразований:

$$2y = 3,331x + 0,278y + 3,886z$$
$$4x + 2z = 2,957x + 0,246y + 3,450z$$

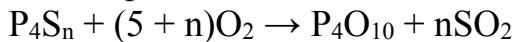
Простейшее решение данной системы в целых числах даёт  $x = 7$ ,  $y = 18$  и  $z = 2$ . Формула вещества  $C_7H_{18}N_2$  (**4 балла, из них запись системы уравнений, не приведшая к верному решению – 2 балла**), а уравнение реакции сгорания:



### Задание 8.

#### Непростые структуры (11 баллов)

Запишем уравнение реакции сгорания в общем виде:

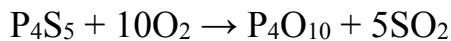


( $P_4O_{10}$  – более корректная форма записи оксида фосфора (V)  $P_2O_5$ )

По условию,  $m(P_4S_n) = m(P_4O_{10})$ . Их количества вещества по уравнению реакции равны, тогда можно приравнять и молекулярные массы:

$$M(P_4S_n) = M(P_4O_{10})$$
$$31 \cdot 4 + 32 \cdot n = 31 \cdot 4 + 16 \cdot 10$$

Откуда получаем, что  $n = 5$ . Сульфид имеет формулу  $P_4S_5$  (**2 балла**). Уравнение реакции:



**(1 балл за уравнение реакции)**

Сосчитав количество атомов серы в каждой структуре, получим для сульфида 1 формулу  $P_4S_8$ , для сульфида 2 -  $P_4S_6$ , а для сульфида 3 -  $P_4S_4$ .

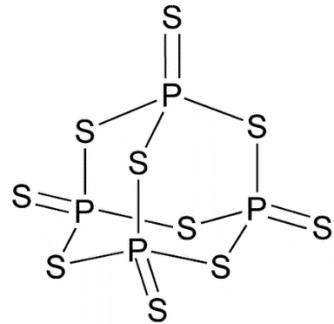
**(по 0,5 балла за формулу)**

Внимательный анализ рисунка позволяет найти следующее количество связей каждого типа:

№	Формула	N(P-P)	N(P-S)	N(P=S)
1	$P_4S_8$	0	12	2
2	$P_4S_6$	2	8	2
3	$P_4S_4$	2	8	0

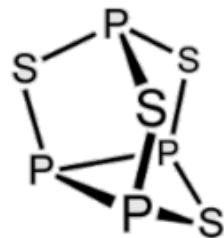
**(по 0,5 балла за каждое значение, итого 4,5 балла)**

Структура  $P_4S_{10}$  получается дополнением серой уже имеющейся структуры 1, содержащей 4 атома фосфора. Два новых атома серы необходимо присоединить к трёхвалентным атомам фосфора посредством двойной связи:



**(1 балл за структуру)**

Сульфид 3 имеет формулу  $P_4S_4$ . Его структура симметрична: каждый фосфор образует одну связь P-P и 2 связи P-S, однако можно нарушить симметрию, сделав атомы фосфора несимметричными:



**(1 балл за структуру)**