**Задание 1. «Химики меча и магии».**

В 2024 году исполняется 25 лет одной из самых популярных компьютерных стратегий в мире – «Герои меча и магии III». Сегодня, дорогой участник Всесибирской олимпиады, Вы посетите нагорья Бракады, удивительные земли, которые населяют маги и джинны. Бракада всегда славилась своими богатейшими россыпями самоцветов, пещерами кристаллов, шахтами, рудниками и прочими источниками ресурсов. К несчастью, эти месторождения постоянно прельщают ужасных алчных ржавых драконов, разоряющих всё на своём пути. Для защиты от них волшебники создают гарнизоны из стальных големов, но кислотное дыхание, изрыгаемое драконами, разъедает компоненты их доспехов и механизмов. Жозефине (герою-алхимику, специализирующемуся на големах) было поручено решить эту проблему, разработав драконостойких големов.

Первым делом Жозефина исследовала кислоту **A**, выплёвываемую драконом. При стоянии на свету колбы с образцом кислоты **A** раствор желтел вследствие появления в нем бурого газа **B** [реакция 1]. Исследуемая кислота была подвергнута нейтрализации раствором натриевой щелочи с образованием соли **B** [2]. После этого раствор она упарила, а полученную соль **B** разложила нагреванием. В ходе разложения образовалась соль **Г**, **анион** которой содержит 69,55% кислорода по массе, а также выделился газ **Д**, поддерживающий горение [3]. Соль **Г** при дальнейшем нагревании тоже разлагается [4], образуя твёрдый оксид **Е** ( $\omega(\text{O}) = 25,81\%$ ), а также бесцветные газы **Ж** и **Д**.

При добавлении к соли **Г** водного раствора иодоводорода образуются газ **Ж** и простое вещество **З**, пары которого окрашены в фиолетовый цвет [5].

При растворении **Е** в воде протекает реакция [6], а получаемый при этом раствор вещества **И** окрашивается при добавлении фенолфталеина.

Известно, что газ **Д** также может быть получен при нагревании оксида ртути(II) [7].

**1.** Установите формулы веществ **A-I**. Напишите уравнения реакций [1-7]. Какую окраску будет давать раствор **И** в воде со следующими индикаторами: а) фенолфталеином; б) лакмусом; в) метилоранжем?

**2.** Рассчитайте массовую долю **A** в образце, полученном из дракона, если для полной нейтрализации 100 г этого раствора потребовалось 670 мл раствора натриевой щелочи с концентрацией 1 моль/л.

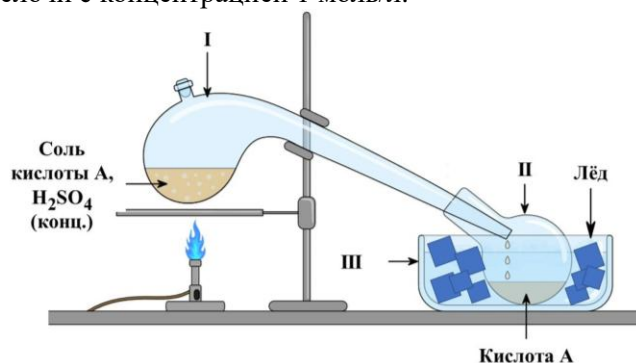
Для дальнейших экспериментов наша героиня решила сама приготовить кислоту **A**, для чего она собрала установку, изображённую на рисунке. В сосуд **I** она помещала смесь концентрированной серной кислоты и натриевую соль **A**. После нагревания смеси образовался  $\text{NaHSO}_4$  и пары **A** [8], конденсат которых собирался в сосуде **II**.

**3.** Напишите уравнение реакции [8]. Приведите названия частей **I-III** изображённой установки.

Жозефина уже имела богатый опыт работы с кислотой

**A**. В частности, она изучала её взаимодействие с основными ресурсами, представленными в игровой вселенной. Вам предоставлены фрагменты её лабораторного журнала, где описаны эксперименты с использованием **концентрированной A**. «Начала опыты с самоцветами, алмаз оказался устойчив к действию кислоты, но сгорал в атмосфере фтора [9]. Раствор, полученный при взаимодействии кристаллов минерала родохрозита ( $\text{MnCO}_3$ ) и **A** [10], упарила, а твердый остаток прокалила [11], бурый остаток оксида содержит 36,81% кислорода по массе. Взаимодействие **A** и серы приводило к образованию другой сильной минеральной кислоты [12]. Руда, состоящая в основном из гематита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), растворяется в кислоте **A** [13]. Взаимодействие ртути с кислотой **A** даёт соль [14], при добавлении к раствору которой раствора гидроксида натрия выпадает в осадок бинарное (двухэлементное) вещество жёлтого цвета [15]».

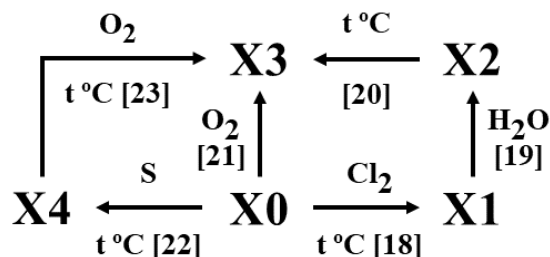
**4.** Напишите уравнения реакций [9-15].



Долго размышляла над решением проблемы с големами героиня. И вот, наконец, во время одной из прогулок по городу, взглядевшись в *заоблачный храм*, она воскликнула: «Конечно же, металл **X0**! Он превосходно пассивируется (становится не активным) под действием кислоты **A**!». Для металла **X0** характерно сочетание сравнительно малой плотности, высокой механической прочности и коррозионной стойкости, что делает его ценным конструкционным материалом. Основным источником элемента **X** на Земле служит минерал рутил ( $\omega(\text{O}) = 40,06\%$ ). Для получения металла **X0** рутил спекают с углём в присутствии хлора [16], в ходе реакции образуется высший хлорид **X** и угарный газ. Далее полученный хлорид элемента **X** взаимодействует с металлическим магнием [17], который восстанавливает его до металла **X0**.

5. Установите формулу рутила и напишите название элемента **X**, которому соответствует простое вещество **X0**. Напишите уравнения реакций [16-17].

Вспомнив, насколько удивительна и разнообразна химия элемента **X**, Жозефина тут же составила схему превращений, в которой представлены некоторые соединения **X**. Известно, что во всех приведённых веществах (кроме **X0**) элемент **X** находится в высшей степени окисления. **X2** – продукт полного гидролиза **X1**. Одним из продуктов реакции [23] является сернистый ангидрид.



6. Установите формулы веществ **X1-X4** и напишите уравнения реакций [18-23].

Литьё големов целиком из металла **X0** экономически нецелесообразно, поэтому Жозефина решила использовать нанесение этого металла на поверхность стали при помощи электрического тока. В ходе этого процесса катионы **X** восстанавливались до металла, а хлорид-ионы окислялись до молекулярного хлора.

7. Как называется использованный Жозефиной процесс?

За успешное выполнение задания король Гевин Магнус пожаловал Жозефине титул Герцогини Бракады, она снискала славу одного из величайших алхимиков своего времени, а её трактаты долгое время считались классическими трудами в алхимии.

## Задание 2. «Недоверчивые авторы».

*«Пятнадцатилетию задачи номер 5 посвящается»*

*«Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением»*

М.В. Ломоносов

Около 15 лет назад один из студентов НГУ усомнился в достоверности информации о том, что металл **A** не реагирует с неким неметаллом в расплавленном состоянии. Прочитал он об этом в монографии М. Ситтига «**A**, его производство, свойства и применение» (Госатомиздат, Москва, 1961 г.). Стоит отметить, что сотрудники Института неорганической химии СО РАН, к которым студент обратился с этим вопросом, также поддержали его сомнения. Тем не менее, опыты, проведенные автором той самой «задачи № 5», подтвердили информацию из монографии, а результаты тех опытов составили основу задачи для заключительного этапа Всероссийской олимпиады школьников.

В той же монографии написано: «при обычных условиях **A** не реагирует с **B**. При повышенных же температурах **A** способен реагировать с **B**, давая два продукта реакции: **C** и **D**». Как и 15 лет назад, но теперь автор уже этой задачи усомнился в справедливости написанного и отправился искать более современную и достоверную информацию. Поразительно! Но **A** действительно реагирует (реакция [1]) со стократным избытком вещества **B**, образуя только вещество **C**, однако условия проведения реакции оказались гораздо экзотичнее, нежели указанные Ситтигом. Вещества **A** и **B** вводят в реакцию, осаждая их из газовой фазы на сапфировую подложку при  $-196^\circ\text{C}$ , пониженном давлении и при воздействии микроволновой плазмы. Образующееся красно-коричневое вещество **C** ( $\omega(\text{N}) = 16,87\%$ ) имеет металлический блеск и очень охотно разрушается парами воды с образованием аммиака [2]. Вещество **D** получают косвенным путем.

1. Напишите уравнения реакций [1], [2] и формулы веществ **A – D**, если известно, что при высокой температуре 1,00 г соли **D** необратимо разлагается с образованием 354 мг **A** и 517 мл (н. у.) газа **B**.

2. Как в лабораторных условиях можно обеспечить температуру синтеза  $-196^\circ\text{C}$ ?

Для элемента, образующего простое вещество **A**, существует ряд бинарных (двухэлементных) веществ с кислородом **A1 – A4**. Вещество **A** взаимодействует с концентрированной азотной кислотой [3] с образованием соли **E**. Нагревая смесь **E** и **D**, можно получить очень чистое вещество **A1** [4]. Интересно, что **A1** нельзя получить в чистом виде путём сжигания **A** на воздухе [5], поскольку в этом процессе образуется в основном **A2** с примесью **A1**. Само вещество **A2** без примеси получают нагреванием **A1** в атмосфере чистого кислорода [6]. В свою очередь вещество **A3** можно получить при нагревании **A2** в атмосфере чистого кислорода под давлением 300 атмосфер [7]. Наконец, **A4** получается при продувании озона через раствор **A3** в жидком аммиаке [8].

3. Напишите формулы веществ **E**, **A**<sub>1</sub> – **A**<sub>4</sub> и уравнения реакций [3] – [8]. Приведите названия веществ **A**<sub>1</sub> – **A**<sub>4</sub>.

Элемент, образующий простое вещество **X**, находится в одной подгруппе ПС с элементом, образующим простое вещество **A**. Этот элемент также образует ряд бинарных веществ **X**<sub>1</sub> – **X**<sub>3</sub>. При сжигании **X** на воздухе протекают две параллельных реакции, в которых образуются оксид **X**<sub>1</sub> [9] и вещество **F** [10], аналогичное по количественному составу веществу **C**. При растворении **X**<sub>1</sub> в воде [11] образуется раствор вещества **G**. Для получения вещества **X**<sub>2</sub> соединение **G** растворяют в кипящем спирте и добавляют 30% раствор H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [12], после чего образовавшийся осадок сушат над P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>, получая **X**<sub>2</sub>. Пропуская озон через суспензию **X**<sub>2</sub> в растворителе CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> при -40 °С, можно получить вещество **X**<sub>3</sub> [13] с массовым содержанием кислорода 82,05 %.

4. Напишите формулы веществ **F**, **G**, **X**, **X**<sub>1</sub> – **X**<sub>3</sub> и уравнения реакций [9] – [13].

Одна из наиболее интересных особенностей простых веществ **A** и **X** – их легкая растворимость в жидком аммиаке с образованием ярко-синих растворов с необычными свойствами. Разбавленные растворы имеют высокую электропроводность и одинаковую синюю окраску, что говорит о присутствии одинаковых окрашивающих частиц **Z**<sup>-</sup>. Тем не менее, раствор **A** в чистом жидком аммиаке остается стабильным в течение нескольких месяцев и после испарения аммиака из этого раствора снова выделяется вещество **A**. Однако при добавлении в этот раствор нитрата железа(III) в качестве катализатора выделяется газ и происходит образование соли **Y** [14] (59,0 масс. % элемента **A**). Интересно, что чистая соль **Y** имеет белый цвет, но при выпаривании аммиака на дне сосуда остается порошок серого цвета.

5. Что представляет собой частица **Z**<sup>-</sup>? Напишите формулу соли **Y** и уравнение реакции [14]. Почему при выпаривании аммиака образуется порошок именно серого цвета, несмотря на то, что чистая соль **Y** имеет белый цвет?

### Задание 3. «Квантовые точки».

Нобелевскую премию по химии в 2023 г. присудили Алексею Екимову, Мунги Бавенди и Луису Брюсу за открытие и исследование квантовых точек. Квантовые точки представляют собой кристаллические частицы размерами в несколько нанометров, которые имеют свойства полупроводников и применяются для создания дисплеев QLED, а также очень перспективны для использования в клеточной биологии и медицине.

Большой интерес для науки представляет получение квантовых точек на основе соединений элемента **X**. Потребность в соединениях данного элемента, существование которого предсказал еще Д.И. Менделеев, существенно выросла за последние 30 лет. Так, мировое потребление **X** в 2023 г. составило около 100 тонн. Вещества, содержащие элемент **X**, играют важную роль в производстве электроники, так как используются в промышленности для изготовления полупроводниковых материалов.

Ученые Института физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской Академии Наук работают над синтезом квантовых точек на основе соединения **E**, представляющего из себя нитрид элемента **X** с массовой долей **X** 83,33% и являющегося одним из самых эффективных полупроводников современности.

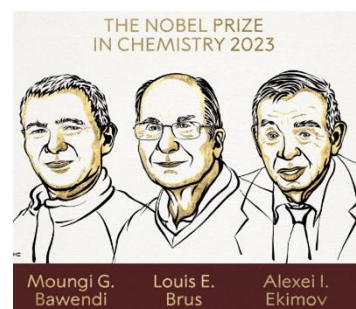
Помимо использования в качестве полупроводниковых материалов соединения элемента **X** применяются и в других областях. Например, малотоксичный сплав, содержащий элемент **X**, индий и олово, является отличной альтернативой ртути при изготовлении бытовых термометров. Средняя молекулярная масса такого сплава составляет 80 г/моль, содержание элементов по массе следующее: ω(**X**) = 68,5%, ω(In) = 21,5%, ω(Sn) = 10%.

1. Установите элемент **X** и формулу вещества **E**. Ответы подтвердите расчетом. Укажите название сплава, если известно, что оно состоит из первых слогов латинских названий входящих в него элементов в порядке упоминания их в тексте задачи.

В 1869 году Д.И. Менделеев сформулировал Периодический закон, который гласил, что свойства элементов, а также состав и свойства образуемых ими простых веществ и соединений находятся в периодической зависимости от величин их атомных масс (конечно, со временем периодический закон был доработан и величины атомных масс в формулировке закона были заменены на заряды ядер атомов). При создании периодической системы химических элементов в 1869 г. он, основываясь на Периодическом законе, оставил вакантные места в IV периоде для неизвестных на тот момент элементов **X** и **M** – аналогов уже известных р-элементов **Z** и **Y**, соответственно, расположенных в III периоде.

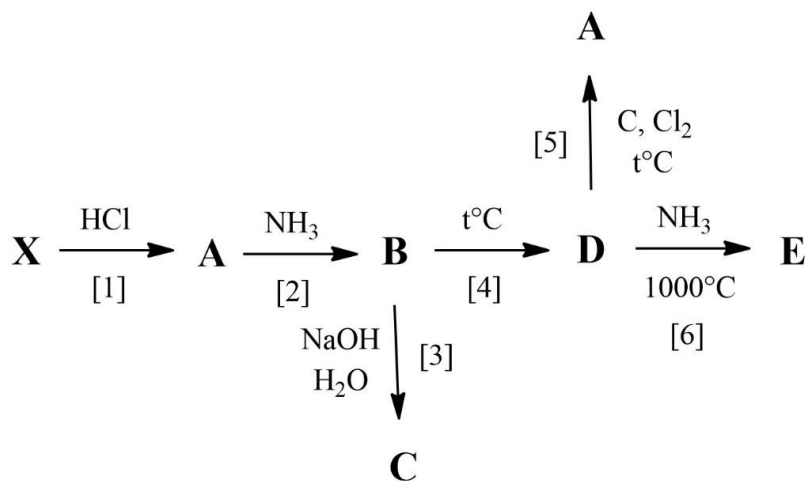
Менделеев, основываясь на свойствах соседних, хорошо изученных элементов, достаточно точно описал не только важнейшие физические и химические свойства, но и предсказал метод открытия еще не обнаруженных химических элементов – спектроскопию.

2. Укажите названия элементов **Z** и **Y**, а также названия элементов **X** и **M**, данные им Д.И. Менделеевым.



Вскоре после открытия Периодического закона элемент **X** был открыт и выделен в виде простого вещества французским химиком Полем Эмилем Лекоком де Буабодраном. Это был триумф Периодического закона! Вскоре на основании выводов Д.И. Менделеева были обнаружены и прочие предсказанные им элементы.

Основываясь на Периодическом законе, нетрудно догадаться, что химические свойства элементов **X** и **Z** будут очень схожи. Так, при растворении простого вещества, образованного элементом **X**, в растворе соляной кислоты происходит образование раствора хлорида металла **X** (*вещество А*) [реакция 1] и выделение очень легкого газа. Взаимодействие полученного раствора **A** с раствором аммиака [2] приводит к образованию осадка гидроксида металла **X** (*вещество В*). По аналогии с гидроксидом металла **Z**, *вещество В* растворяется в избытке щелочи, так, например, при его взаимодействии с избытком раствора гидроксида натрия образуется *комплексная соль С* [3], в которой соотношение атомов натрия и кислорода равно 1 к 4, а массовая доля элемента **X** составляет 43,48%. При нагревании *вещества В* [4] получается оксид металла **X** (*вещество D*),  $\omega(\text{X}) = 74,47\%$ . Отметим, что получение безводного хлорида металла **X** является непростой задачей, так как при выпаривании водного раствора **A** образуется гексагидрат хлорида металла **X** (т.е.  $\text{A} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Для решения этой задачи *вещество D* прокачивают с углем в токе хлора, при этом в результате реакции [5] образуются безводный хлорид металла **X** и угарный газ. В свою очередь, прокачивание *вещества D* в токе аммиака при температуре  $1000^\circ\text{C}$  [6] обычно используют для получения вещества **E**, являющегося одним из самых эффективных полупроводников современности (см. начало этой задачи). Описанные химические превращения соединений элемента **X** представлены на схеме справа.



3. Напишите формулы веществ **A-D** и уравнения реакций [1-6].

Помимо применения в электротехнике и термометрах, некоторые соединения элемента **X** (например нитрат), широко применяются в медицине при лечении гиперкальциемии, вызванной злокачественными новообразованиями. Препараты, содержащие это вещество, снижают вымывание кальция из костной ткани, связываясь с гидроксиапатитом и уменьшая его растворимость.

Некоторое количество безводного нитрата элемента **X**, т.е.  $\text{X}(\text{NO}_3)_3$ , растворили в 150 г воды при  $60^\circ\text{C}$ , а затем охладили до  $20^\circ\text{C}$ . При этом в осадок выпало 41,8 г девятиводного нитрата элемента **X** ( $\text{X}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ) и, соответственно, образовался насыщенный при  $20^\circ\text{C}$  раствор  $\text{X}(\text{NO}_3)_3$ .

4. Определите массовую долю безводного нитрата  $\text{X}(\text{NO}_3)_3$  в исходном растворе при  $60^\circ\text{C}$  (в %). Растворимость безводного нитрата элемента **X** при  $20^\circ\text{C}$  составляет 181 г на 100 г воды.

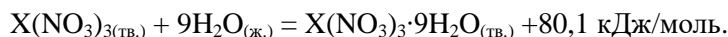
Дан отрывок таблицы растворимости солей элемента **X**:

<b>Анион</b>	F <sup>-</sup>	S <sup>2-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Br <sup>-</sup>
<b>Соединение с X<sup>3+</sup></b>	<b>Н</b>	–	<b>Н</b>	<b>Р</b>	<b>Н</b>	<b>Р</b>

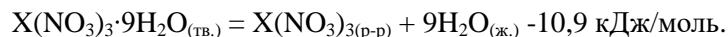
*Примечание:* **Н** – нерастворимое в воде соединение, **Р** – растворимое в воде соединение.

5. Укажите, с водными растворами каких соединений реагирует водный раствор нитрата элемента  $\text{X}(\text{NO}_3)_3$ : серная кислота, молибдат калия, фторид аммония, бромоводородная кислота, нитрат бария, фосфат натрия, сульфид калия. Напишите уравнения протекающих реакций.

Образование девятиводного кристаллогидрата из нитрата элемента **X** и воды описывается следующим термодинамическим уравнением:



Растворение девятиводного кристаллогидрата элемента **X** в воде можно описать следующим термодинамическим уравнением:



6. Вычислите тепловой эффект процесса растворения 1 моль безводного нитрата элемента **X** в воде.