

## Разбалловка и решения задач теоретического тура олимпиады Гесса 2023

### Задача 1. Размер имеет значение (авторы задачи Матвей Черненко и Евгений Анохин)

Розовые кристаллы гексагидрата бинарной соли **A** с массовой долей металла 24,76% реагируют с веществом **B**, образуя нерастворимый гидроксид и наиболее часто употребляемую в пищу человеком соль, которую можно найти на любой кухне [1]. Прокаливание нерастворимого гидроксида приводит к образованию вещества **C** [2]. Вещество **C** при прокаливании с углем без доступа воздуха дает металл **X** и газ **D** [3]. Реакция газа **D** с газообразным простым веществом **Y** приводит к образованию ядовитого газа **E** [4], обладающего запахом прелого сена. Электролиз раствора соли **A** приводит к образованию газов **Y** (на аноде) и **F** (на катоде) [5].

1) Вычислите состав соли **A**. Приведите все необходимые рассуждения и расчеты.

Вещество **A** легко определяется по описанию задачи и численным данным. Наиболее часто употребляемая соль — хлорид натрия, образуется при реакции обмена соли со гидроксидом, поэтому **A** точно хлорид. Следовательно, общий вид **A** —  $MeCl_n \cdot 6 H_2O$

$$\omega = \frac{Me}{Me + 35,5n + 108} = 0,2476$$

$$Me + 35,5n + 108 = \frac{Me}{0,2476}$$

$$Me + 35,5n + 108 = 4,039Me$$

$$Me = 11,68n + 35,53$$

При  $n = 1$  получаем  $Me = 47,2$  ( $\sim Ti$ )

При  $n = 2$  получаем  $Me = 58,9$  ( $Co$ )

При  $n = 3$  получаем  $Me = 70,6$  (—)

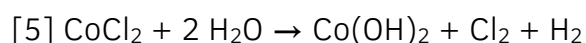
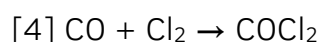
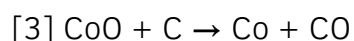
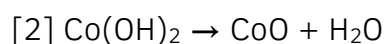
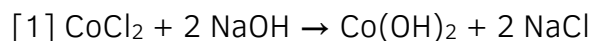
Однозарядный титан не подходит, очевидный ответ  $Co^{+2}$ . **A** —  $CoCl_2 \cdot 6 H_2O$

2) Определите вещества **B**, **C**, **D**, **Y**, **E**, **F**. Разница в формулах между соединениями **A** и **E** заключается **буквально** в одной мелочи.

**B** —  $NaOH$ , **C** —  $CoO$ , **D** —  $CO$ ,

**Y** —  $Cl_2$ , **E** —  $COCl_2$ , **F** —  $H_2$ .

3) Приведите уравнения пяти упомянутых реакций.



### Разбалловка

Определение состава соли А с достаточными пояснениями — 4 балла.

Определение веществ В, С, D, Y, E, F — по 1 баллу за вещество, 6 баллов в сумме.

Пять верно уравненных реакции — по 2 балла за реакцию, суммарно 10 баллов. В случае, если реакция не уравнена — половина баллов за реакцию.

### Задача 2. Химический кроссворд (автор задачи Владимир Королёв)

Куда же на олимпиаде Гесса без решения кроссвордов?

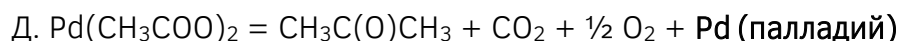
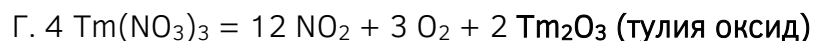
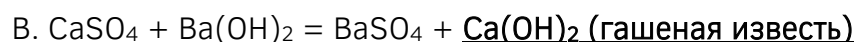
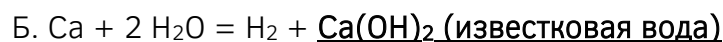
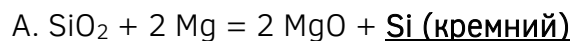
The crossword puzzle grid contains the following letters:

- Row 1: Б, Е, Р, Л, И, Н, С, К, А, Я
- Row 2: Л, И, Т, И, Я
- Row 3: И, К, О
- Row 4: О, Л, О, В, А, И, О, Д, И, Д
- Row 5: П, Л, А, В, И, К, О, В, А, Я, К, И, С, Л, О, Т, А
- Row 6: Я, З, С, Й, И
- Row 7: В, Е, О, С, Д, Т, А, Ь
- Column 1: Б, Е, Р, Л, И, Н, С, К, А, Я
- Column 2: Л, И, Т, И, Я
- Column 3: И, К, О
- Column 4: О, Л, О, В, А, И, О, Д, И, Д
- Column 5: П, Л, А, В, И, К, О, В, А, Я, К, И, С, Л, О, Т, А
- Column 6: Я, З, С, Й, И
- Column 7: В, Е, О, С, Д, Т, А, Ь
- Column 8: И, К, О, В, А, Я, К, И, С, Л, О, Т, А
- Column 9: О, Д, И, Д
- Column 10: И, О, Д, И, Д
- Column 11: К, И, С, Л, О, Т, А
- Column 12: К, И, С, Л, О, Т, А
- Column 13: Л, А, З, У, Р, Ь
- Column 14: С, И, Л, И, К, А, Т
- Column 15: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 16: Л, А, З, У, Р, Ь
- Column 17: С, И, Л, И, К, А, Т
- Column 18: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 19: П, О, Р, О, С
- Column 20: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 21: П, О, Р, О, С
- Column 22: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 23: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 24: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 25: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 26: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 27: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 28: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 29: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 30: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 31: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 32: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 33: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 34: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 35: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 36: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 37: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 38: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 39: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 40: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 41: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 42: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 43: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 44: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 45: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 46: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 47: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 48: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 49: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 50: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 51: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 52: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 53: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 54: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 55: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 56: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 57: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 58: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 59: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 60: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 61: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 62: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 63: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 64: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 65: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 66: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 67: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 68: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 69: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 70: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 71: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 72: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 73: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 74: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 75: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 76: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 77: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 78: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 79: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 80: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 81: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 82: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 83: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 84: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 85: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 86: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 87: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 88: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 89: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 90: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 91: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 92: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 93: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 94: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 95: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 96: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 97: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 98: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 99: К, У, П, О, Р, О, С
- Column 100: К, У, П, О, Р, О, С

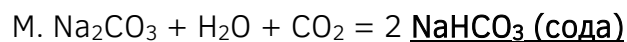
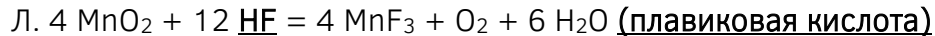
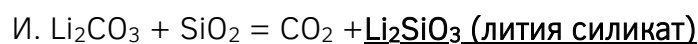
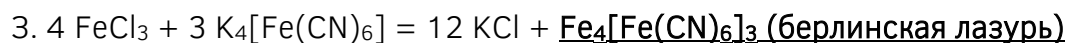
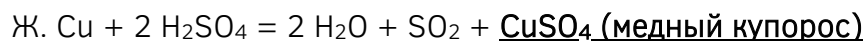
Вам предстоит разгадать кроссворд где ответами являются названия химических соединений — тривиальные или систематические. Большинство вопросов соответствуют ответы, состоящие из двух слов, например, «каменная соль» или «натрия хлорид». Только одно из названий подходит под клеточки в кроссворде. Слова в кроссворде идут либо слева направо, либо сверху вниз, и никак иначе. Если в пункте Я ответом является словосочетание из двух слов, то первое слово надо написать после Я1, а второе — после Я2.

Чтобы разгадать соединение, вам нужно дописать уравнение реакции. Уравнения уравнированы, осталось только определить недостающий компонент. Удачи!

По вертикали:



По горизонтали:



## Ответы на проверку:

	Первое слово	Второе слово
А	КРЕМНИЙ	—
Б	ИЗВЕСТКОВАЯ	ВОДА
В	ГАШЕНАЯ	ИЗВЕСТЬ
Г	ТУЛИЯ	ОКСИД
Д	ПАЛЛАДИЙ	—
Е	ДИСПРОЗИЙ	—
Ж	МЕДНЫЙ	КУПОРОС
З	БЕРЛИНСКАЯ	ЛАЗУРЬ
И	ЛИТИЯ	СИЛИКАТ
К	ОЛОВА	ИОДИД
Л	ПЛАВИКОВАЯ	КИСЛОТА
М	СОДА	—

## Разбалловка

Каждое слово по 1 баллу, суммарно 20 баллов за 20 слов.

**Задача 3. Инопланетный гость (автор задачи Евгений Анохин)**

Существует множество интересных минералов, но не все из них могут похвастаться инопланетным происхождением или невероятно захватывающей научной историей. Одним из таких уникальных минералов является *хатыркит*, образец которого был обнаружен в 1979 году в русле ручья у реки Хатырка в районе Корякского нагорья на Чукотке. Мало того, что этот минерал обладает интересным **трехэлементным** составом, так в его образце были обнаружены включения другого минерала, *икосаэдрита*, который является первым в мире обнаруженным природным квазикристаллом (кристаллом, обладающим «запрещенным» видом симметрии правильного пятиугольника). Первооткрыватели «природных» образцов квазикристаллов организовали повторную экспедицию на Чукотку, обнаружили еще образцы минералов, исследовали их и показали, что минерал имеет метеоритное происхождение, метеорит сформировался приблизительно 4,5 миллиарда лет назад (еще до образования планет Солнечной системы), а на Землю попал около 15 000 лет назад. Эта история безумно интересная, но в самой задаче мы сосредоточимся на химии хатыркита.

Хатыркит имеет стально-серовато-желтый цвет с металлическим блеском, он непрозрачный, немагнитный, имеет среднюю твердость по Моосу (5½). Его химический состав абсолютно нетипичен для минералов, образованных в земных условиях. При нагревании навески хатыркита в восстановительной атмосфере (в токе водорода или угарного газа) его масса остается неизменной. Для изучения состава хатыркита провели ряд химических превращений.

1) На что указывает отсутствие изменения массы при нагревании в восстановительной атмосфере?

Отсутствие изменения массы при нагревании в восстановительной атмосфере указывает на то, что в образце нечему восстанавливаться. Учитывая описание «нетипичный для земных условий состав» можно предполагать, что это вообще не оксидные / сульфидные соединения.

Навеску 1000 мг минерала добавили к 200 мл 4 М соляной кислоты (*блок реакций 1*). При этом наблюдалось выделение бесцветного газа без запаха (617 мл при н.у.); после окончания выделения газа на дне стакана остался красновато-черный порошок. Порошок был количественно отфильтрован, промыт дистиллированной водой и высушен, его масса составила 404 мг. Забавно, что попытка растворения такой же навески в 200 мл 4 М гидроксида натрия (*блок реакций 2*) приводит к такому же результату — выделяется 617 мл газа и остается 404 мг красновато-черного осадка. Оба полученных раствора за исключением осадка абсолютно прозрачны и бесцветны.

2) Какой газ выделялся в описанных опытах? Водород (H<sub>2</sub>)

3) Для какого типа элементов характерны однотипные реакции с кислотами и щелочами?

Напишите одним словом. Амфотерных

При более агрессивном вскрытии в 200 мл 4 М азотной кислоты навеска минерала массой 1000 мг растворяется без остатка. В процессе растворения выделяются газообразные продукты, обладающие неприятным резким запахом и бурой окраской. Полученный в результате раствор (*раствор X*) обладает бледно-голубой окраской. Если к полученному раствору добавить большой избыток гидрокарбоната натрия, то наблюдается выпадение голубовато-белого осадка. Осадок был количественно отфильтрован, промыт и затем прокален в муфельной печи при температуре 600°C (*блок реакций 3 — с гидрокарбонатом и прокаливании*). Масса образца после прокаливания составила 1542 мг.

Если к раствору X вместо соды по каплям добавлять концентрированный раствор аммиака, то будут наблюдаться забавные превращения (*блок реакций 4*). Вначале, пока избыток азотной кислоты еще присутствует в растворе, визуально ничего изменяться не будет; затем в растворе начнет образовываться бело-голубая муть, количество которой будет постепенно увеличиваться. В некоторый момент ситуация резко изменяется: мути становится меньше, раствор приобретает насыщенный сине-фиолетовый окрас. В конечном растворе остается некоторое количество белого осадка. После количественного фильтрования, промывки и прокаливания при 600°C масса осадка составила 865 мг.

4) Определите состав минерала хатыркита. Приведите все необходимые вычисления и расчеты. **Считайте, что структурная формула минерала должна содержать в себе только целочисленные индексы элементов.**

Вся задача указывает на то, что в исходном минерале были элементы в неокисленном виде, которые затем окисляются в различных превращениях. Минерал хатырkit трехэлементный, по металлическому блеску, другим описаниям и химическим превращениям в нем угадываются простые вещества-металлы, при этом некоторые из них обладают амфотерными свойствами.

Среди описаний элементов можно угадать:

- Медь: темно-красный порошок, нерастворимый в кислотах и щелочах; растворяется в азотной кислоте с образованием голубого раствора; выпадает в голубоватый осадок с гидрокарбонатом натрия; гидроксид растворяется в аммиаке с образованием насыщенного сине-фиолетового соединения.

- Амфотерные металлы: цинк, алюминий, бериллий, другие. Под описание хорошо подходит пара алюминия и цинка (растворимость в аммиаке; осаждение карбоната).

Остается только проверить наши предположения и посчитать состав минерала.

**Блоки 1 и 2:**

Количество выделившегося водорода составляет  $617 / 22,4 \cdot 10^{-3} = 2,75 \cdot 10^{-2}$  моль.

Количество соляной кислоты при этом:  $0,2 \text{ л} \cdot 4 \text{ М} = 0,8$  моль.

При этом в соляной кислоте не растворяется медь, и она действительно может остаться в виде красновато-черного порошка, поскольку будет мелкодисперсной.

Тогда определим ее количество:  $404 \cdot 10^{-3} / 63,5 = 6,36 \cdot 10^{-3}$  моль.

Кроме того, так как изначально было 1000 мг минерала, то  $1000 - 404 = 596$  мг — это масса растворившихся в соляной кислоте (или щелочи) элементов, составляющих минерал кроме меди.

**Блок 3:**

После растворения в азотной кислоте, нейтрализации гидрокарбонатом и прокаливании от всех веществ должны были остаться только оксиды. Тогда можно составить уравнение, связывающее массу исходного минерала и массу конечных оксидов.

**Блок 4:**

Специфическая реакция, дополнительно указывающая на медь. Кроме того, можно знать, что среди амфотерных металлов аммиачные комплексы есть у цинка, но нет у бериллия и алюминия. В такой схеме алюминий-цинк в конечном осадке должен был остаться только алюминий.

На самом деле этих данных уже хватает, чтобы определить состав минерала.

Проверим самый очевидный случай, описанный выше.



Из блока 4 количество алюминия:

$$0,865 / (27 \cdot 2 + 16 \cdot 3) = 8,48 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Вычтем из оксидной массы блока 3 массу оксида алюминия из блока 4 и учтем массу оксида меди:

$$1,542 - 0,865 - 6,36 \cdot 10^{-3} \cdot (63,5 + 16) = 0,171 \text{ г}$$

Тогда количество цинка составляет:

$$0,171 / (65,4 + 16) = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$\text{Тогда соотношение Zn : Cu : Al} = 2,1 : 6,36 : (8,48 \cdot 2) = 1 : 3 : 8$$

Проверим нашу гипотезу по объему выделившегося газа. В такой ситуации выделяется водород, на 1 моль цинка выделяется 1 моль водорода, а на 1 моль алюминия — 1,5 моль водорода.

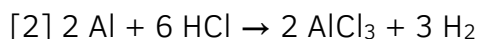
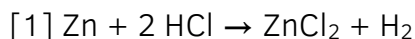
$$(2,1 + 8,48 \cdot 2 \cdot 1,5) \cdot 10^{-3} = 2,75 \cdot 10^{-2}$$

Ура, сошлось! Все наши разумные предположения верные!

**Формула минерала:**  $\text{Cu}_3\text{ZnAl}_8$

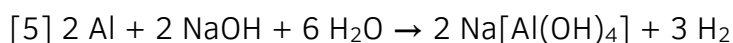
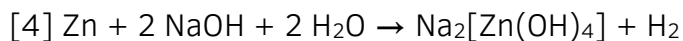
5) Напишите уравнения реакций, соответствующих четырем блокам реакций:

Блок 1 (минерал в соляной кислоте):



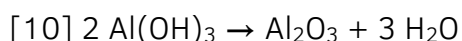
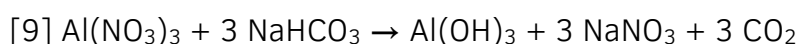
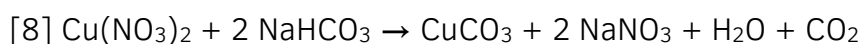
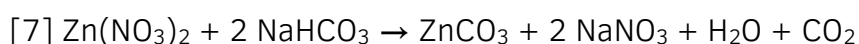
[3] Cu с HCl не реагирует

Блок 2 (минерал в щелочи):

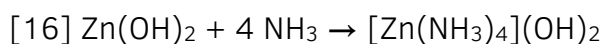
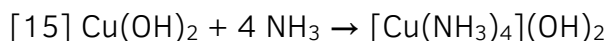
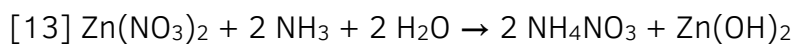
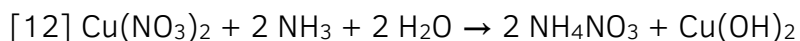


[6] Cu с NaOH не реагирует

Блок 3 (раствор X с гидрокарбонатом и прокаливании):



Блок 4 (раствор X с аммиаком):



[17] Al(OH)<sub>3</sub> не образует аммиачные комплексы

По данным рентгеноструктурного анализа хатырakit относится к тетрагональной сингонии, то есть его элементарная ячейка представляет собой прямоугольный параллелепипед.

$$a = b = 6,076 \text{ \AA}, c = 4,877 \text{ \AA}, \alpha = \beta = \gamma = 90,000^\circ; 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м.}$$

5) Вычислите плотность хатыракита, исходя из данных рентгеновской дифракции. Считайте, что на одну элементарную ячейку хатыракита приходится одна структурная единица вещества. Если вам не удалось вычислить формулу минерала, используйте  $M = 500 \text{ г/моль}$ .

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{M/N_A}{a^2 b} = \frac{471,9 / 6,022 \cdot 10^{23}}{(6,076 \cdot 10^{-8})^2 \cdot 4,877 \cdot 10^{-8}} = 4,35 \text{ г/см}^3$$

В случае, если использовано число 500 г/моль, плотность должна получиться 4,61 г/см<sup>3</sup>.



### Разбалловка

Вопросы 1-3 по 2 балла за ответ — 6 баллов суммарно.

Качественное определение элементов по 1 баллу, еще 2 балла за определение соотношения элементов — 5 баллов суммарно.

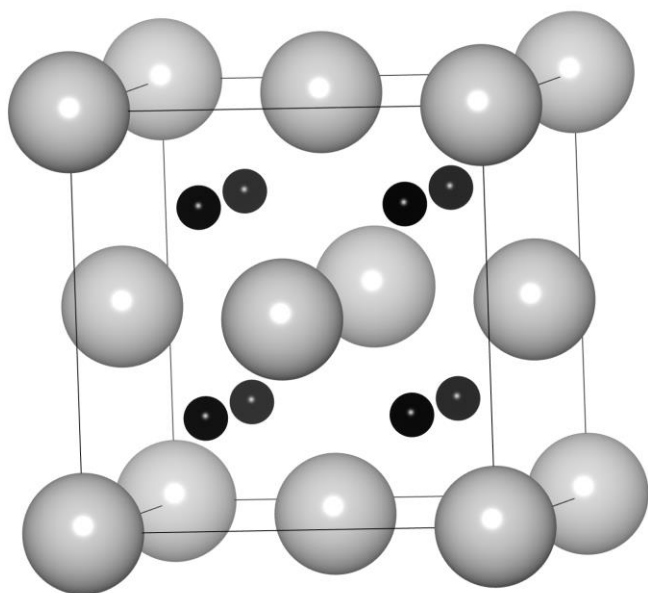
Написание четырех блоков реакций по 1,5 балла за блок — 6 баллов суммарно.

Корректный расчет плотности — 3 балла. Если использована масса 500, то максимум 2 балла.

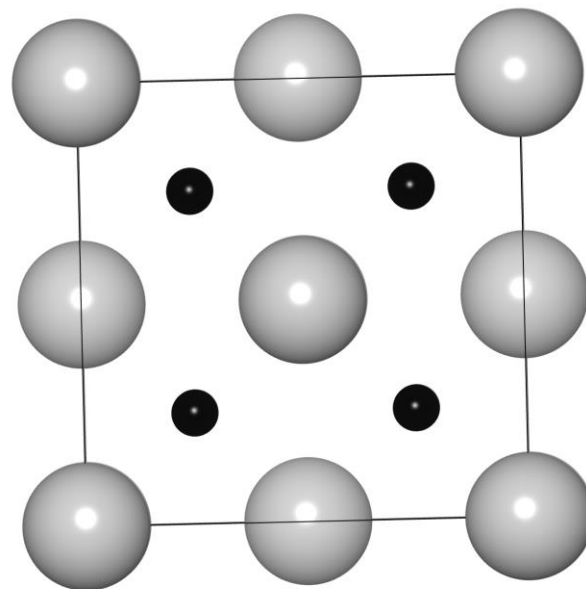
Суммарно 20 баллов.

**Задача 4.** В половине работ у этой задачи нет названия, потому что мы его забыли на печати (автор задачи Данила Деянков)

Химии элемента **A** в школьной программе уделено от силы 5 минут. Поделом, ведь химии (по сравнению с другими обитателями таблицы Менделеева) у него почти нет. Первым полученным и по совместительству наиболее известным соединением данного представителя периодической системы является черный **B**, имеющий кубическую элементарную ячейку (структура на рисунке) с параметром  $a = 5,388 \text{ \AA}$  и плотностью  $11,68 \text{ г/см}^3$ .



Общий вид



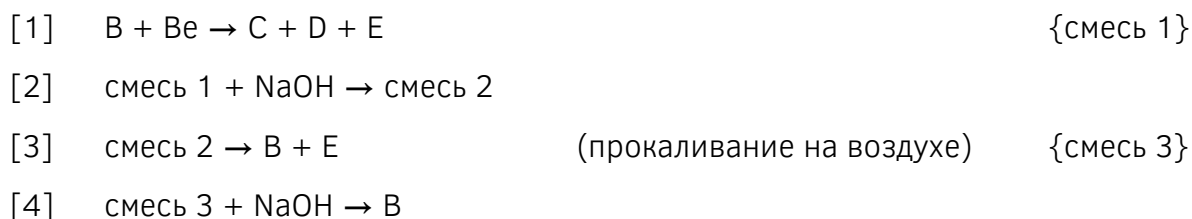
Вид с любой из трех сторон

Соединение **B** было восстановлено металлотермически с помощью чистого бериллия [1]. При этом образовалась смесь трех веществ: **C**, **D** и **E**. Про эту реакцию известны следующие факты:

1. Вещество **C** — простое, вещество **D** имеет кластерное строение. Оба вещества **C** и **D** содержат элемент **A**;
2. Вещества **C** и **D** образовались в соотношении 1:1;
3. Продукт **E** содержит в своем составе бериллий.

После промывки полученной смеси раствором натриевой щелочи масса твёрдого остатка уменьшается на 14,22% от теоретической массы [2]. При прокаливании [3] оставшейся после промывки твёрдой смеси на воздухе влечёт увеличение массы на 45,11% и образование смеси **B** и **E**. Потеря массы после растворения в щелочи [4] составляет 37,14% от расчётной.

**Схема превращений:**



1) Определите брутто-соотношение различных частиц в структуре **B**, а также число структурных единиц в элементарной ячейке. Ответ поясните.

В структуре флюорита содержится 8 черных маленьких шариков (целиком внутри элементарной ячейки) и 4 крупных серых ( $8 * 1/8 + 6 * 1/2$ ). Таким образом, можно утверждать, что в составе элементарной ячейки содержатся четыре структурные единицы **B**.

2) Определите молярную массу соединения **B**. Определите элемент **A** и вещество **B**, приведите все необходимые расчеты и пояснения.

Молярную массу данного соединения можно рассчитать по формуле

$$M = \frac{\rho V * N_a}{Z},$$

где  $\rho$  — плотность вещества,  $V$  — объём ячейки,  $Z$  — число формульных единиц (количество молекулярных формул вещества, приходящихся на одну ячейку), откуда  $M = 275$  г/моль. Соединение **B** получается при прокаливании простого вещества **C** на воздухе, значит скорее всего это оксид с брутто-формулой  $A_2O$  или  $AO_2$ . Разумный ответ получается только при подстановке во вторую формулу, **A** — Am.

3) Определите формулы веществ **C**, **D** и **E**, приведите необходимые рассуждения и запишите уравнения всех описанных выше реакций.

Раз элемент **A** — Am, то **C** — простое вещество Am, то **B** —  $AmO_2$ , диоксид америция. При восстановлении оксида америция бериллием явно будет получаться оксид бериллия, а значит **E** — BeO. Вопросы возникают лишь с **D**. Найти формулу данного вещества нам помогут расчёты. Газообразных продуктов в ходе данной реакции восстановления быть не должно, а значит вся масса исходных веществ составляет массу первого твёрдого остатка. В щёлочи растворяется оксид бериллия, а значит, что в первом, что во втором случае потеря массы связана именно с уходом оксида бериллия в раствор в виде комплекса. Определим моли оксида бериллия, ушедшего в первый раз в расчёте на 1 г исходной смеси.

$$\nu_{BeO} = \frac{1 \text{ г} * 0,1422}{25 \text{ г/моль}} = 5,688 * 10^{-3} \text{ моль}$$

При прокаливании на воздухе образуются оксиды, увеличение массы связано с присоединением кислорода, и представляется возможным рассчитать финальную массу.

$$m = (1 \text{ г} - (1 \text{ г} * 0,1422)) * 1,4511 = 1,245 \text{ г}$$

Уходящая часть — BeO, и снова можно посчитать уходящие моли вещества.

$$\nu_{BeO} = \frac{1,2448 \text{ г} * 0,3714}{25 \text{ г/моль}} = 0,0185 \text{ моль}$$

Это бериллий, который содержался в остатке после первой промывки, а значит мы можем рассчитать суммарное количество америция при условии, что **D** состоит из америция и бериллия.

$$m_{Be \text{ после первой промывки}} = 0,01849 \text{ моль} * 9 \text{ г/моль} = 0,1665 \text{ г}$$

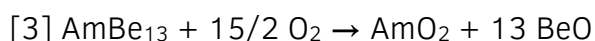
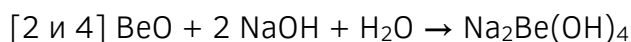
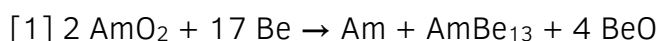
$$m_{Am} = 1 \text{ г} - (1 \text{ г} * 0,1422) - 0,1665 \text{ г} = 0,6913 \text{ г}$$

$$\nu_{Am} = \frac{0,6913 \text{ г}}{243 \text{ г/моль}} = 2,845 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

$$Am : Be = 2,845 \cdot 10^{-3} \text{ моль} : (0,0185 \text{ моль} + 5,688 \cdot 10^{-3} \text{ моль}) = 1 : 8,5 = 2 : 17$$

Если учесть, что при первой промывке уходит 4/17 суммарного количества бериллия, то получается, что в кластерном соединении содержится один атом америция и 13 атомов бериллия.

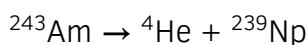
**D** —  $AmBe_{13}$



Оксид америция со щелочью не реагирует.

4) На самом деле автор задачи немного слухавил: на протяжении всего времени проведения эксперимента в реакторе также выделялся газ **F**, но процентные изменения массы в условии приведены так, как будто газ не выделяется. Какой процесс автор не учёл в задаче? Напишите уравнение реакции и рассчитайте какая часть реагирующего вещества успела вступить в реакцию, если за всё время эксперимента выделилось 0,1758 мл газа **F** (н.у.).

**F** — He, поскольку америций — радиоактивный элемент, подверженный альфа-распаду



$$\nu_{гелия} = \frac{0,1758 \cdot 10^{-3}}{22,4} = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ моль}$$

Суммарное количество америция, которое было использовано, не представлено в задаче, поэтому вычислить часть вещества, которая разложилась, невозможно.

5) Как получают элемент **A**?

Америций — искусственно полученный элемент, его период полураспада слишком мал для того, чтобы его можно было встретить в природе. Его можно получать с помощью ядерных реакций из более легких ядер.

### Разбалловка

2 балла за брутто-соотношение, 1 балл за количество структурных единиц — суммарно 3 балла.

2 балла за корректный расчет молярной массы **В**.

По 1 баллу за вещества **А** и **В** — суммарно 2 балла.

По 2 балла за вещества **С**, **Д**, **Е** — суммарно 6 баллов.

По 1 баллу за каждую из 3 различных реакций — суммарно 3 балла.

1 балл за определение гелия и 2 балла за написание уравнения распада — суммарно 3 балла.

1 балл за обоснование получения америция.

Суммарно 20 баллов.

### Задача 5. Тривиальная задача (автор задачи Александр Соболев)

В результате неудачного опыта с машиной времени юный химик Герман попал в параллельную реальность, где не догадались описывать элементы буквенными обозначениями, а также нет никаких химических формул. Местный ученый Ненделеев любезно предложил нашему герою экскурсию по химическому складу, где хранились самые разнообразные вещества в коробках, бутылках и баллонах. Внимание Германа больше всего привлекли следующие маркировки: **Дух Соли**, **Муриевая кислота**, **Адский камень**, **Щелочной Воздух**, **Философская Ртуть**, **Дефлогистированный Воздух**, **Аквафортис**, **Трескучая Соль** и **Купоросное Масло**.

«Как тут все необычно, конечно!» — подумал Герман, а после этого заметил дверь с надписью «Осторожно! Опасные реактивы». Дождавшись, когда экскурсовод отвлечется, он скользнул в эту комнату, и его вниманию предстали следующие вещества: **Огненная Вода**, **Нюхательный Спирт**, **Этиловая Жидкость**. «Вот это уже здорово!» — подумал школьник и уже потянулся рукой к банке с **Царской Водкой**, однако именно в этот момент был остановлен Ненделеевым, который с укором в глазах смотрел на него. После этого Германа ждала часовая лекция о важности правил техники безопасности, однако Ненделеев оценил тягу юноши к знаниям и рассказал ему о свойствах веществ, а также показал некоторые опыты с найденными Германом веществами. Вот какие знания вынес наш герой после этого дня:

Реактив	Агрегатное состояние реактива	Среда при смешивании с водой
Дух Соли	Газообразное	Сильнокислая
Муриевая Кислота	Жидкое (раствор)	Сильнокислая
Адский Камень	Твердое	Слабокислая
Щелочной Воздух	Газообразное	Щелочная
Фил-ская Ртуть	Твердое	Не смешивается
Дефлог-й Воздух	Газообразное	Нейтральная
Аквафортис	Жидкое (раствор)	Сильнокислая
Трескучая Соль	Твердое	Нейтральная
Купоросное Масло	Жидкое (раствор)	Сильнокислая
Огненная Вода	Жидкое	Нейтральная
Нюхат-й Спирт	Жидкое (раствор)	Щелочная
Этиловая ж-сть	Жидкое	Не смешивается
Царская Водка	Жидкое (раствор)	Сильнокислая

Также Герман узнал, какие превращения возможны при взаимодействии этих веществ.

1. **Царская водка** — чрезвычайно опасный реактив, который можно приготовить смешением концентрированных **Муриевой Кислоты** и **Аквафортиса** в соотношении 3:1. Эта смесь способна растворять многие металлы, в том числе и **Философскую Ртуть** и даже наше обычное серебро. Кстати при растворении последнего в концентрированном **Аквафортисе** можно получить раствор **Адского Камня**, при этом также будет выделяться оксид азота (IV) и вода (*реакция 1*).

2. **Купоросное Масло** и **Трескучая Соль** хоть миролюбивые по названию, в реальности могут прореагировать с образованием опасного газа — **Духа Соли** (*реакция 2*). При растворении **Духа Соли** в воде образуется **Муриевая Кислота**. При реакции **Муриевой Кислоты** с раствором **Адского Камня** образуется белый творожистый осадок (*реакция 3*), который растворяется при добавлении в раствор большого количества **Трескучей Соли**. Известно, что **Трескучая Соль** — бинарное соединение, в состав которого не входит **Философская Ртуть**.

3. **Щелочной Воздух** при нагревании с **Дефлогистированным Воздухом** способен дать воду, а также газ **А**, который немного легче воздуха (*реакция 4*). В состав газа **А** и **Аквафортиса** входит один и тот же элемент **Х**. **Щелочной Воздух** отлично поглощается водой, превращаясь в **Нюхательный Спирт**. Концентрированный **Нюхательный Спирт** способен растворить белый творожистый осадок, получаемый в реакции 3 (*реакция 5*).

4. **Огненную Воду** часто используют для дезинфекции медицинского оборудования, а также в косметической промышленности. Элементный состав данного соединения показывает, что мольная доля углерода в нем составляет 22,22%, а водорода — 66,67%, а молярная масса не

превышает 60 г/моль. При интенсивном взаимодействии **Огненной Воды** и **Дефлогистированного Воздуха** образуется только углекислый газ и вода, а также выделяется большое количество тепла (реакция 6). В реакции **Огненной Воды** и **Духа Соли** (молярное соотношение 1:1) образуется только соединение **Б** и вода (реакция 7).

5. Соединение **Б** способно прореагировать со сплавом **В**, состоящим из **Философской Ртути** и еще одного металла, дающего интенсивное желтое окрашивание в пламени по схеме:



Известно, что массовая доля углерода в **Этиловой Жидкости** составляет 29,70%, также в нее входит тот же элемент, что и в **Философской Ртути**.

### Задания

1) Определите, какие вещества или смеси веществ скрываются за тривиальными названиями (всего *тринадцать* таких названий). Приведите формулу и привычное название.

Реактив	Формула	Привычное название
Дух Соли		
Муриевая Кислота		
Адский Камень		
Щелочной Воздух		
Фил-ская Ртуть		
Дефлог-й Воздух		
Аквафортис		
Трескучая Соль		
Купоросное Масло		
Огненная Вода		
Нюхат-й Спирт		
Этиловая ж-сть		
Царская Водка		

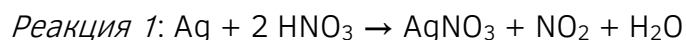
2) Приведите уравнения указанных *семи* реакций.

3) Определите также элемент **X** (кстати говоря, он входит в пять зашифрованных тривиальными названиями реактивов), вещества **A**, **Б**, состав сплава **В**.

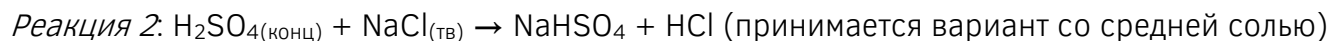
4) За счет каких процессов возможно растворение осадка из реакции 3 при добавлении избытка **Трескучей Соли** или **Нюхательного Спирта**?

### Решения

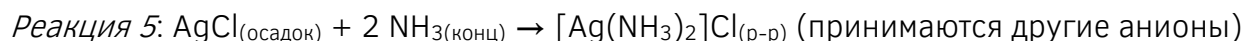
Начнем определение веществ с того, где что-то сказано про привычные нам названия веществ — с растворения серебра в **Аквафортисе**. Судя по выделению оксида азота, **Аквафортис** содержит его в себе, плюс дает кислую реакцию среды. Известные кислоты с азотом — это азотистая и азотная, однако, первая слаба, поэтому смело утверждаем, что **Аквафортис** — это  $\text{HNO}_3$ . Соответственно, **Адский Камень** — это нитрат серебра  $\text{AgNO}_3$ .



**Муриевая Кислота** реагирует с  $\text{AgNO}_3$  с образованием белого творожистого осадка — это значит, что скорее всего, речь про соляную кислоту  $\text{HCl}_{(р-р)}$ . Тогда, очевидно, что **Дух Соли** — это хлороводород  $\text{HCl}_{(г)}$ , а **Царская Водка** — смесь концентрированных азотной и соляной кислот в указанных пропорциях. Хлороводород можно получить при действии на хлориды сильными концентрированными кислотами, значит, **Купоросное Масло** — тоже сильная кислота (подтверждается реакцией среды). По названию можно догадаться, что это серная кислота  $\text{H}_2\text{SO}_{4(\text{конц})}$ , т.к. ее соли часто называют купоросами. Тогда **Трескучая Соль** — какой-то хлорид, а из пункта 5 про окраску пламени можно сделать вывод, что речь о хлориде натрия  $\text{NaCl}$  (чуть позже будет доказано, что из схемы той реакции следует, что натрий входит в **Трескучую Соль**).

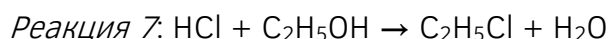
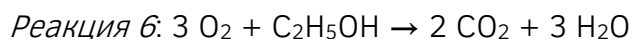


В **Щелочной Воздух** входит один из элементов азотной кислоты, который обозначен за **X**, то есть водород, азот или кислород. Также в реакции **Щелочного и Дефлогистированного Воздухов** образуется **A** и вода, то есть и **Дефлогистированный Воздух** не выходит за рамки этих элементов. Чуть дальше мы можем найти, что **Дефлогистированный Воздух** вступает в интенсивную реакцию с **Огненной Водой**, речь скорее всего о реакции горения, тогда **Дефлогистированный Воздух** — это, вероятнее всего, кислород  $\text{O}_{2(г)}$ . **Щелочной Воздух** также дает щелочную реакцию среды в водном растворе, является отлично растворимым и горючим, что позволяет уверенно заявить — это аммиак  $\text{NH}_{3(г)}$ . При сгорании аммиака могут образовываться вода, а также  $\text{N}_2$  или  $\text{NO}$ . По условию газ **A** должен быть легче воздуха, под это подходит только азот  $\text{N}_2$ . Следовательно, элемент **X** — азот **N**. **Нюхательный Спирт** — водный раствор аммиака  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_{(р-р)}$ .





По данным элементного состава видно, что в **Огненной Воде** 2/9 атомов — это атомы углерода, а 6/9 — атомы водорода. Если предположить, что атомов в веществе всего 9, то молярная масса уже набегает 30, если возьмем 18 атомов — уже будет перебор. Тогда осталось понять, какой еще атом входит в соединение. При сгорании в кислороде образуется только  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , значит, в исходное вещество может дополнительно входить только кислород, следовательно, формула —  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ . Более честно это нужно записывать как  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  — этиловый спирт или медицинский спирт. Для определения соединения **Б** не нужно знать особенности свойств спиртов, достаточно рассчитать сколько атомов куда переходит и сделать вывод, что **Б** — это  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ .



Реакцию **Б** со сплавом **В** запишем с учетом того, что мы знаем:



Здесь мы подтверждаем, что металл **М** дает окрашивание пламени в желтый цвет, следовательно,  $\text{MCl}$  — это действительно хлорид натрия. Также очевидно, что формулу **Этиловой Жидкости** можно переписать так:  $\text{Fr}_x(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ . Молярная масса соединения по расчетам составляет  $8 \cdot 12 / 0,2970 = 323,2$  г/моль. Если вычесть все известные фрагменты, то на  $\text{Fr}_x$  останется 207,2 г/моль. Это идеально подходит под свинец **Pb**. Получается, **Философская Ртуть** — это свинец, а сплав **В** — это  $\text{PbNa}_4$ . **Этиловая Жидкость** — тетраэтилсвинец  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ .

Необычное поведение некоторых осадков, а именно их растворение, может быть осуществлено с помощью образования комплексов — такое особенно часто встречается в солях d-металлов. Серебро, например, любит образовывать комплексы с двумя какими-нибудь частицами (называются лигандами), если этих частиц в растворе много. Пример такой реакции – реакция 5 из данной задачи, а также упомянутое растворение хлорида серебра в избытке хлорида натрия:  $\text{AgCl} + \text{NaCl}_{(\text{изб})} \rightarrow \text{Na}^+ + [\text{AgCl}_2]^-$ .

### Разбалловка

Определение формул реактивов, элементов и веществ.

Реактив	Формула	Количество баллов
Дух Соли	$\text{HCl}_{(г)}$ хлороводород	0,5
Муриевая Кислота	$\text{HCl}_{(р-р)}$ соляная кислота	0,5
Адский Камень	$\text{AgNO}_{3(тв)}$ нитрат серебра	1
Щелочной Воздух	$\text{NH}_{3(г)}$ аммиак	0,5
Фил-ская Ртуть	$\text{Pb}_{(тв)}$ свинец	1
Дефлог-й Воздух	$\text{O}_{2(г)}$ кислород	0,5
Аквафортис	$\text{HNO}_{3(р-р)}$ азотная кислота	0,5
Трескучая Соль	$\text{NaCl}_{(тв)}$ хлорид натрия	1
Купоросное Масло	$\text{H}_2\text{SO}_{4(конц)}$ , серная кислота	0,5
Огненная Вода	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , этанол (спирт)	1
Нюхат-й Спирт	$\text{NH}_{3(р-р)}$ водный раствор аммиака	0,5
Этиловая ж-сть	$\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ , тетраэтилсвинец	1 (достаточно формулы)
Царская Водка	Смесь $\text{HNO}_{3(к)}$ и $\text{HCl}_{(к)}$	0,5 (достаточно формул)
Элемент X	Азот N	0,5
Вещество А	$\text{N}_2$ азот	0,5
Вещество Б	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ , хлорэтан	1 (достаточно формулы)
Сплав В	$\text{PbNa}_4$ сплав свинца и натрия	1 (достаточно формулы)

Итого за определение формул и названий — максимум **12 баллов**.

Реакции — по 1 баллу за каждую, итого максимум **7 баллов**.

Ответ на вопрос про комплексообразование — максимум **1 балл**.

Итого максимум за задачу **20 баллов**.

**Задача 6. Привет из Дармштадта (автор задачи Владимир Королёв)**

**Часть 1.** Очень часто химики сталкиваются с задачей исследования неизвестных соединений. Например, минералов, примесей в воде или неожиданных продуктов синтеза. Масс-спектрометрия оказывается очень удобным методом исследования в таких случаях. Особенно он хорош тем, что для расшифровки масс-спектров достаточно всего лишь уметь считать молярные массы молекул и их фрагментов.

Суть метода в следующем. Вещество, состоящее из сложных молекул, например, серную кислоту  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , бомбардируют электронным пучком. В результате молекулы разлетаются на осколки, часто несущие на себе заряд. Эти фрагменты разделяют магнитным полем по соотношению массы к заряду фрагмента и считают — сколько осколков с данным соотношением масса/заряд образовалось. Например,  $\text{S}^{2+}$  и  $\text{O}^+$  попали бы в одну категорию, поскольку у них одинаковое соотношение массы к заряду ( $32/2$  и  $16/1$ ). **В этой задаче все частицы на всех спектрах несут заряд +1.** Масс-спектр серной кислоты представлен на рисунке 1, расположенном на странице 18 (надо посмотреть на рисунок в приложении!).

Чтобы его расшифровать нам поможет знание о том, что кислород и водород — практически моноизотопные элементы, в природе они почти на 100% состоят из изотопов  $^{16}\text{O}$  и  $^1\text{H}$ . А вот природная сера состоит из смеси двух изотопов  $^{32}\text{S}$  (около 95%) и  $^{34}\text{S}$  (около 5%). Именно из-за них фрагменты серной кислоты, содержащие атомы серы, разбиваются на пары пиков. **Их высота пропорциональна доле изотопа в природной смеси.**

Из спектра видно, что серная кислота разлетелась на самые разные осколки:  $\text{SO}^+$ ,  $\text{SO}_2^+$ ,  $\text{HSO}_2^+$ ,  $\text{SO}_3^+$ ,  $\text{HSO}_3^+$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4^+$ , и так далее. Большинство из них не существуют в растворах и даже в нагретом газе живут лишь считанные секунды. Но это не должно вас смущать, процесс дробления молекул на осколки — случайный, электронный пучок, в отличие от вас, школьную химию не учил. Хорошо хоть атомы остались неделимыми.

1) Какому фрагменту соответствует пик с  $m/z = 100$ ? Ответ:  $^1\text{H}_2^{34}\text{S}^{16}\text{O}_4^+$ . Пик примерно в 20 раз ниже, чем для  $^1\text{H}_2^{32}\text{S}^{16}\text{O}_4^+$ , как и должно быть.

2) Какому фрагменту соответствует пик с  $m/z = 81$ ? Ответ:  $^1\text{H}^{32}\text{S}^{16}\text{O}_3^+$ . Это единственный способ собрать осколок с такой массой и заданными в задаче изотопами. Осколок аналогичен  $m/z = 65$ .

**Часть 2.** Многие соли — вещества с ионной связью и ионными кристаллическими решетками. Их строение в твердом виде кажется простым и понятным, но все меняется, если попытаться их испарить. Привыкшие к тесному соседству с большим количеством заряженных частиц, ионы стремятся и в виде газа объединяться в незаряженные кластеры из нескольких формульных единиц солей.

Возьмем безводный хлорид алюминия — удивительное вещество. К примеру, он плавится при всего  $180^\circ\text{C}$ , и это очень низкая температура плавления. «Эталон» ионной кристаллической решетки, хлорид натрия требует для плавления около  $800^\circ\text{C}$ . А еще его точно не стоит бросать

в воду. Пары безводного хлорида алюминия состоят из димерных молекул  $(AlCl_3)_2$ , что удалось установить в том числе и благодаря масс-спектрометрии. Однако масс-спектр хлорида алюминия слишком сложный и приводить мы его не будем.

А вам предлагается самостоятельно изобразить масс-спектр паров хлорида натрия, в которых встречаются частицы  $NaCl$  и  $(NaCl)_2$ .

- 1) Считайте, что образуются все возможные осколки.
- 2) Учтите, что натрий — моноизотопный элемент с массовым числом 23, а хлор в природе состоит из двух изотопов.
- 3) 75% всех атомов хлора имеют массовое число 35, а 25% — 37. Не забудьте, что это повлияет на высоту пиков на вашем спектре. Для каждой группы пиков примите высоту самого интенсивного за 1.

Изобразить масс-спектр паров хлорида натрия необходимо на рисунке 2 в приложении.

Сначала методично выпишем все возможные осколки  $Na_2Cl_2$ :

$^{23}Na^+$ ( $m/z=23$ )	$^{35}Cl^+(m/z=35)$	$^{23}Na_2^+(m/z=46)$	$^{23}Na^{35}Cl^+(m/z=58)$	$^{35}Cl_2^+$ ( $m/z=70$ )	$^{23}Na_2^{35}Cl^+(m/z=81)$
	$^{37}Cl^+(m/z=37)$		$^{23}Na^{37}Cl^+(m/z=60)$	$^{35}Cl^{37}Cl^+$ ( $m/z=72$ )	$^{23}Na_2^{37}Cl^+(m/z=83)$
				$^{37}Cl_2^+$ ( $m/z=74$ )	

$^{23}Na^{35}Cl_2^+$ ( $m/z=93$ )	$^{23}Na_2^{35}Cl_2^+$ ( $m/z=116$ )
$^{23}Na^{35}Cl^{37}Cl^+$ ( $m/z=95$ )	$^{23}Na_2^{35}Cl^{37}Cl^+$ ( $m/z=118$ )
$^{23}Na^{37}Cl_2^+$ ( $m/z=97$ )	$^{23}Na_2^{37}Cl_2^+$ ( $m/z=120$ )

Каким должно быть соотношение числа ионов этих осколков? К этому вопросу можно подойти так:

3 хлора их 4 имеют вес 35

1 хлор из 4 имеет вес 37

Значит соотношение интенсивности пиков осколков, содержащих один атом хлора – 3:1  
 $m/z = (M)$  и  $(M+2)$ .

Для пиков, содержащих два атома хлора можно применить такую логику. Сначала рассмотрим только один атом хлора, а про второй забудем. Он даст два типа осколков в отношении 3х:1х с массами  $(M)$  и  $(M+2)$ . Теперь в этих осколках забудем про первый хлор и будем рассматривать только второй.

Тогда:

3х осколков  $(M)$  разойдется на две категории в соотношении 3:1, это  $(N)$  и  $(N+2)$

1х осколков (M+2) разойдется на две категории в соотношении 3:1, это (N+2) и (N+4)

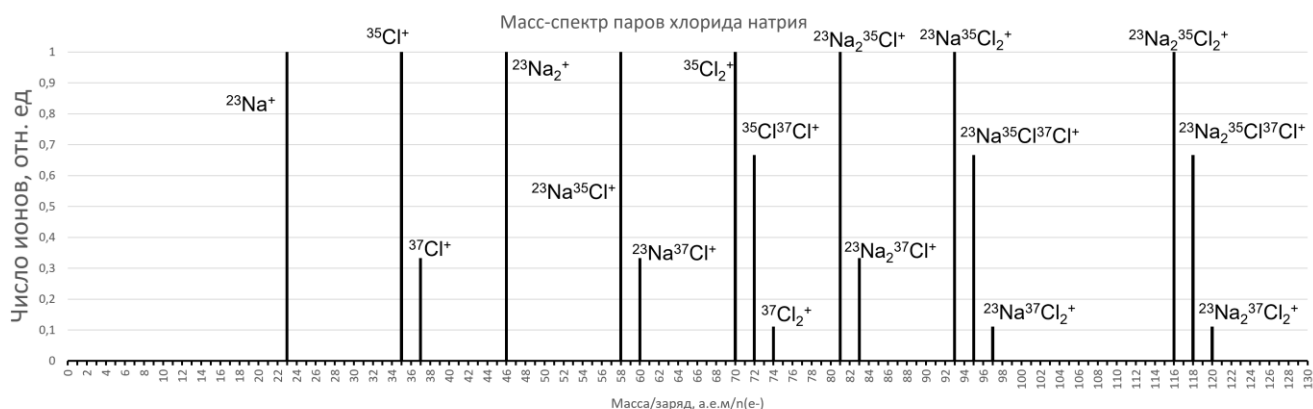
Осколков (N) тогда будет  $3x \cdot 3/4 = 9/4 x$

Осколков (N+2) тогда будет  $3x \cdot 1/4 = 3/4 x$

Осколков (N+2) тогда будет  $1x \cdot 3/4 = 3/4 x$  (суммарно –  $6/4 x$ )

Осколков (N+4) тогда будет  $1x \cdot 1/4 = 1/4 x$

Итого для каждого типа осколков, содержащего два хлора, соотношение интенсивностей линий 9:6:1. Оценивается только соотношение высот линий, абсолютная высота не оценивается



**Часть 3.** Мы попробуем воспользоваться масс-спектрометрией для того, чтобы изучить вещество X. Это хорошо известное вам бинарное вещество, соль, которая может быть получена сливанием двух бесцветных растворов: при этом она выпадает в виде светло-желтого творожистого осадка. При нагревании она плавится уже при  $558^\circ\text{C}$ , при этом над расплавом появляются пары вещества X. Интересна химическая природа этих паров. Для их исследования была привлечена масс-спектрометрия, как наиболее чувствительный и надежный метод анализа.

Вам предлагается проанализировать масс-спектр паров вещества X и определить из каких компонентов (нейтральных молекул!) они состоят. **Важное указание:** один из элементов входящих в бинарное вещество X — моноизотопный, а природная смесь изотопов второго элемента состоит из двух изотопов в соотношении примерно 50:50.

1) Определите вещество X воспользовавшись масс-спектром и описанием выше. Кратко поясните ответ.

X — это AgI. На спектре есть самый легкий раздвоенный пик, соответствующий массам 107 и 109 – в среднем 108, это серебро. Самый легкий нераздвоенный пик должен содержать другой элемент, моноизотопный. И его  $m/z = 127$ , это конечно иод.

2) Каково число протонов и нейтронов в изотопах элементов, из которых состоит X?

$1^{\text{й}}$  нуклид это  $^{107}\text{Ag}$ , нейтронов — 60 шт, протонов — 47 шт

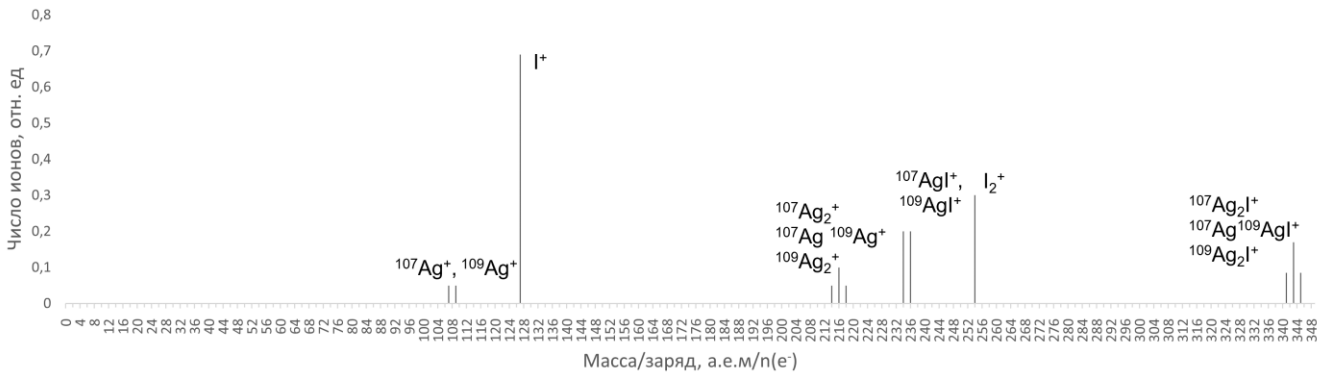
2<sup>й</sup> нуклид это  $^{109}\text{Ag}$ , нейтронов — 62 шт, протонов — 47 шт

3<sup>й</sup> нуклид это  $^{127}\text{I}$ , нейтронов — 74 шт, протонов — 53 шт

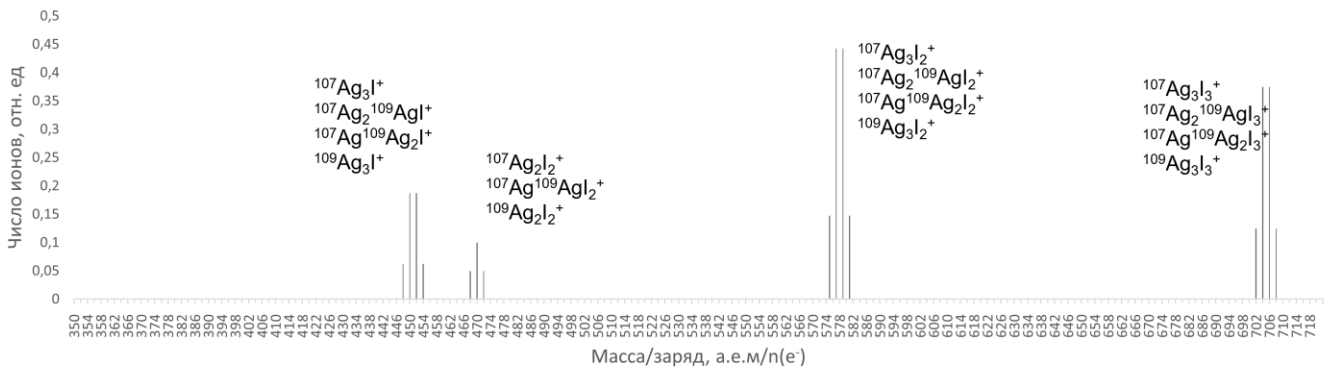
3) **Укажите на масс-спектре X (рисунок 3) химический и изотопный состав осколков, на которые разбились молекулы паров вещества X. Это главный вопрос в этой задаче.**

4) Пары вещества X состоят из этих молекул: проверяется вхождение  $\text{Ag}_3\text{I}_3$ , необязательно указывать  $\text{I}_2$ ,  $\text{AgI}$ ,  $\text{Ag}_2\text{I}_2$ ,

Масс-спектр соединения X, часть первая



Масс-спектр соединения X, часть вторая



Разбалловка:

Определение осколков по $m/z$	1 балл
Ошибка в элементном/изотопном составе	- ½ балла/ошибка
Масс-спектр хлорида натрия	7 баллов
Ошибка в составе осколков	-1 балл/ошибка
Ошибка в соотношении интенсивностей	-1 балл/ошибка, но не больше 4 суммарно
Масс спектр X, расшифровка линий	8 баллов,
Штраф за ошибки в элементном составе	-1 балл/ошибка
Штраф за ошибки в изотопном составе	-1 балл/ошибка, но не больше 4 суммарно
Определение X	1 балл
Ошибка в определении X	-1 балл/ошибка
Определение состава нуклидов	2 балла
Ошибка в определении $p^+$ , $n^0$ , массы	-1 балл/ошибка
Определение $Ag_3I_3$ в составе паров	1 балл

Суммарно 20 баллов.