

Химическая олимпиада имени Германа Гесса  
Заключительный этап  
Теоретический тур

---

(ФИО участника)

---

(населенный пункт, школа, класс)

Москва, 20 марта 2023

---

Заполняется проверяющими:

Задача 1	Задача 2	Задача 3	Задача 4	Задача 5	Задача 6	Сумма

### Задача 1. Размер имеет значение

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.

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

**B** — \_\_\_\_\_,      **C** — \_\_\_\_\_,      **D** — \_\_\_\_\_,  
**Y** — \_\_\_\_\_,      **E** — \_\_\_\_\_,      **F** — \_\_\_\_\_.

3) Приведите уравнения пяти упомянутых реакций.

[1] \_\_\_\_\_

[2] \_\_\_\_\_

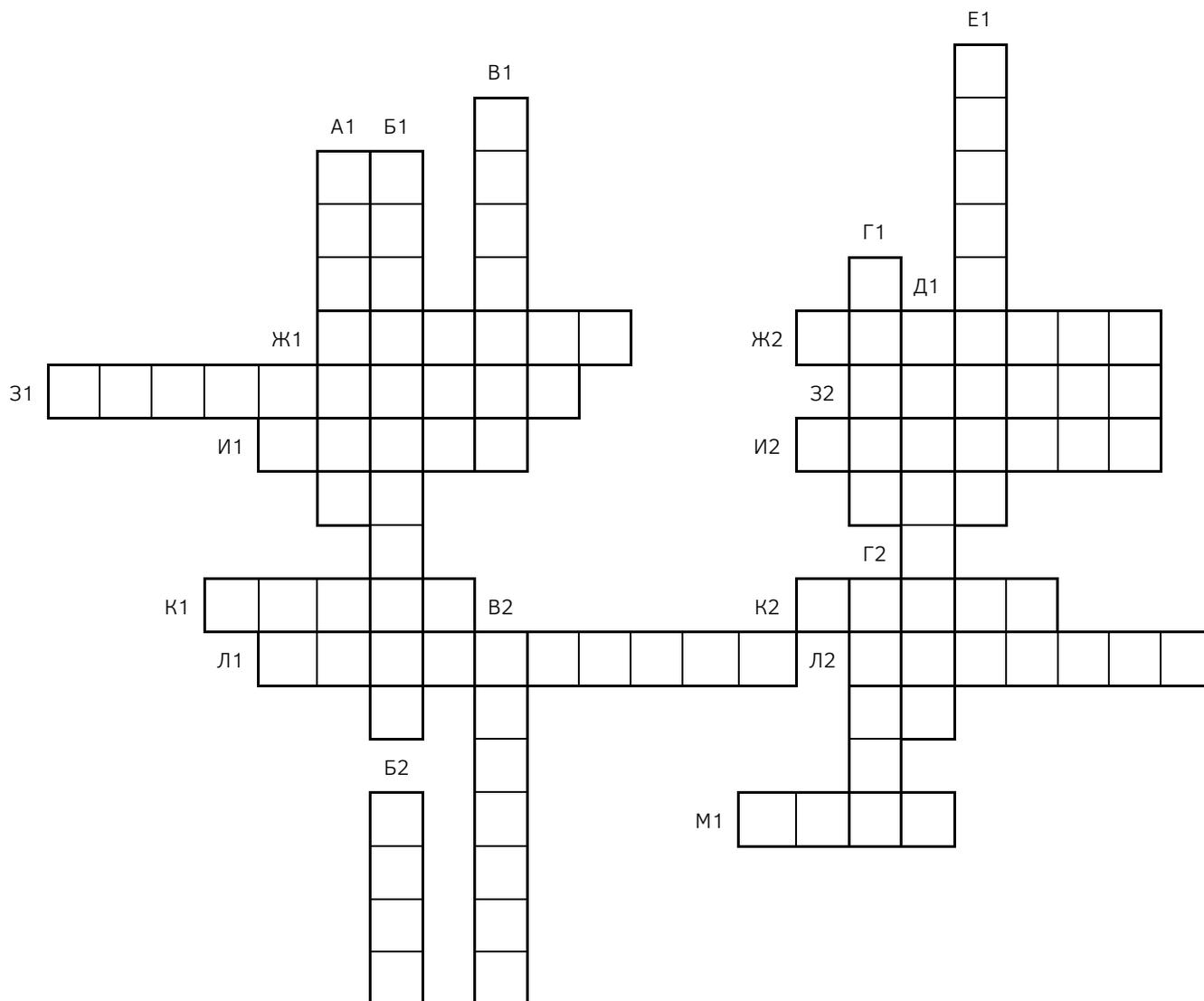
[3] \_\_\_\_\_

[4] \_\_\_\_\_

[5] \_\_\_\_\_

## Задача 2. Химический кроссворд

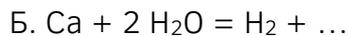
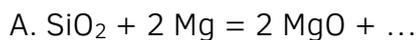
Куда же на олимпиаде Гесса без решения кроссвордов?



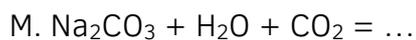
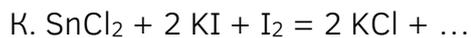
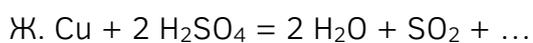
Вам предстоит разгадать кроссворд где ответами являются названия химических соединений — тривиальные или систематические. Большинству вопросов соответствуют ответы, состоящие из двух слов, например, «каменная соль» или «натрия хлорид». Только одно из названий подходит под клеточки в кроссворде. Слова 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 уравнианы, осталось только определить недостающий компонент. Удачи!

По вертикали:



По горизонтали:



**Ответы на проверку:**

	Первое слово	Второе слово
А		
Б		
В		
Г		
Д		
Е		
Ж		
З		
И		
К		
Л		
М		

**Задача 3. Инопланетный гость**

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?

---

---

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? \_\_\_\_\_

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

Напишите одним словом. \_\_\_\_\_

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 прокаливании 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 прокаливании 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.**

Формула минерала: \_\_\_\_\_

5) Напишите уравнения реакций, соответствующих четырем блокам реакций:

Блок 1 (минерал в соляной кислоте):

---

---

---

Блок 2 (минерал в щелочи):

---

---

---

Блок 3 (раствор X с гидрокарбонатом и прокалывание):

---

---

---

---

Блок 4 (раствор X с аммиаком):

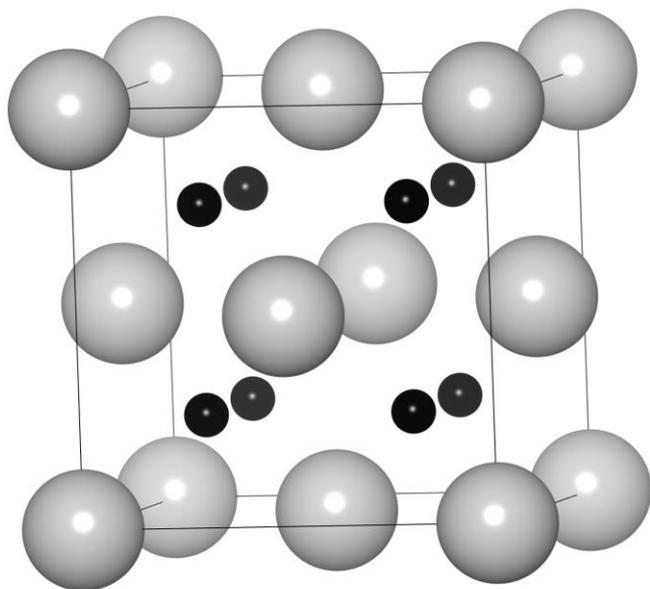
По данным рентгеноструктурного анализа хатыркит относится к тетрагональной сингонии, то есть его элементарная ячейка представляет собой прямоугольный параллелепипед.

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

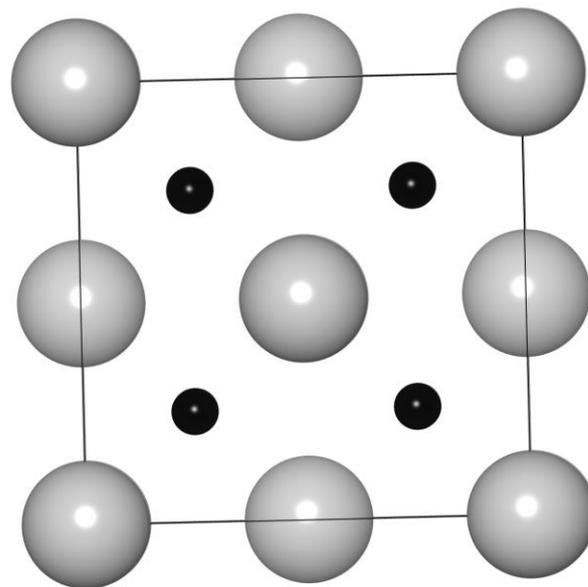
5) Вычислите плотность хатыркита, исходя из данных рентгеновской дифракции. Считайте, что на одну элементарную ячейку хатыркита приходится одна структурная единица вещества. Если вам не удалось вычислить формулу минерала, используйте  $M = 500 \text{ г/моль}$ .

**Задача 4.**

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



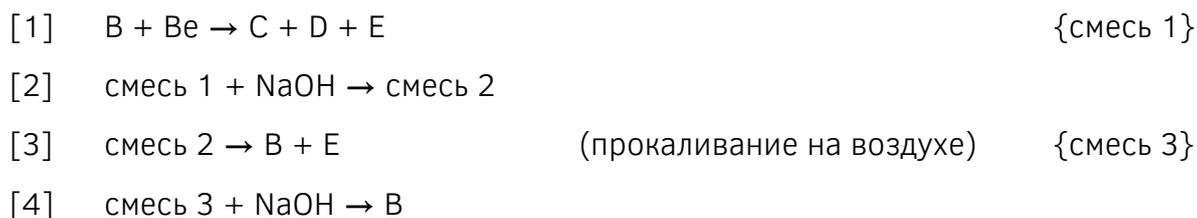
Вид с любой из трех сторон

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.

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

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

4) На самом деле автор задачи немного слукавил: 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.).

5) Как получают элемент **A**?

---

---

---

### Задача 5. Тривиальная задача

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
<b>Дух Соли</b>	Газообразное	Сильнокислая
<b>Муриевая Кислота</b>	Жидкое (раствор)	Сильнокислая
<b>Адский Камень</b>	Твердое	Слабокислая
<b>Щелочной Воздух</b>	Газообразное	Щелочная
<b>Фил-ская Ртуть</b>	Твердое	Не смешивается
<b>Дефлог-й Воздух</b>	Газообразное	Нейтральная
<b>Аквафортис</b>	Жидкое (раствор)	Сильнокислая
<b>Трескучая Соль</b>	Твердое	Нейтральная
<b>Купоросное Масло</b>	Жидкое (раствор)	Сильнокислая
<b>Огненная Вода</b>	Жидкое	Нейтральная
<b>Нюхат-й Спирт</b>	Жидкое (раствор)	Щелочная
<b>Этиловая ж-сть</b>	Жидкое	Не смешивается
<b>Царская Водка</b>	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** (мольное 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.

[1] \_\_\_\_\_

[2] \_\_\_\_\_

[3] \_\_\_\_\_

[4] \_\_\_\_\_

[5] \_\_\_\_\_

[6] \_\_\_\_\_

[7] \_\_\_\_\_

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

**X** — \_\_\_\_\_,      **A** — \_\_\_\_\_,  
**Б** — \_\_\_\_\_,      **B** — \_\_\_\_\_.

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

---

---

---

**Задача 6. Привет из Дармштадта**

**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: \_\_\_\_\_

2) Какому фрагменту соответствует пик с  $m/z = 81$ ? Ответ: \_\_\_\_\_

**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  $(\text{AlCl}_3)_2$ , 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  $\text{NaCl}$  и  $(\text{NaCl})_2$ .

- 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.

**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 \_\_\_\_\_

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

1<sup>й</sup> нуклид — это \_\_\_\_\_, нейтронов — \_\_\_\_\_, протонов — \_\_\_\_\_.

2<sup>й</sup> нуклид — это \_\_\_\_\_, нейтронов — \_\_\_\_\_, протонов — \_\_\_\_\_.

3<sup>й</sup> нуклид — это \_\_\_\_\_, нейтронов — \_\_\_\_\_, протонов — \_\_\_\_\_.

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: \_\_\_\_\_

Рисунок 1. Масс-спектр серной кислоты.

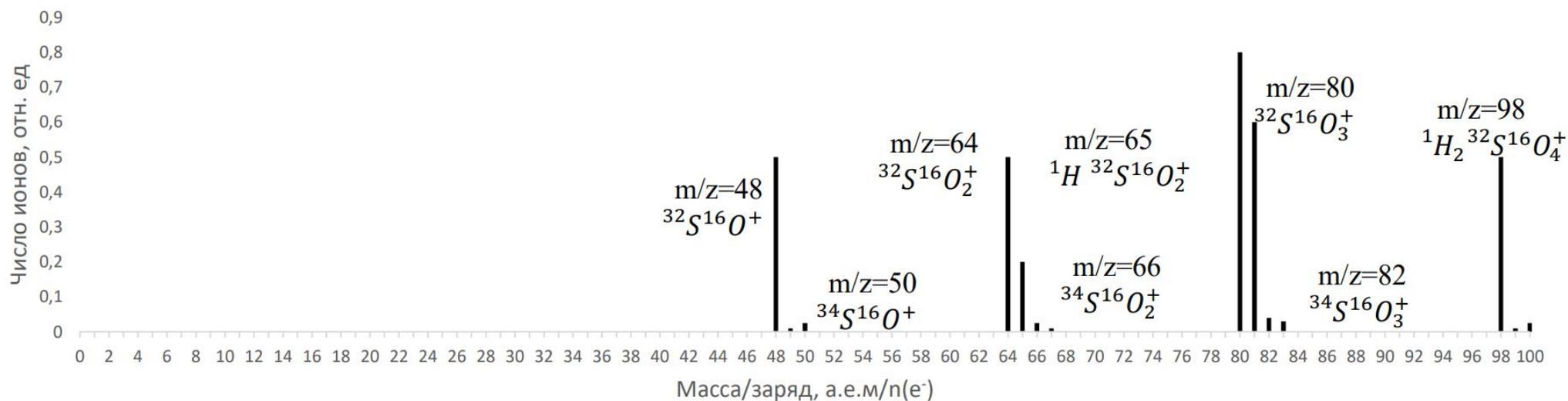


Рисунок 2. Здесь вам необходимо изобразить масс-спектр паров хлорида натрия

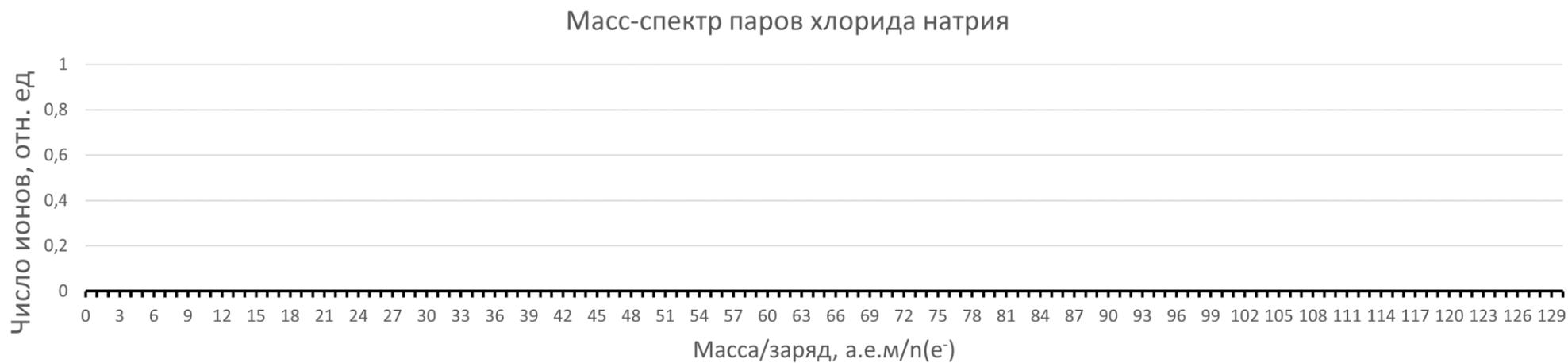


Рисунок 3. Масс-спектр паров вещества X. Он разделен на две части, вторая из которых является продолжением первой.

