

*Ответы без приведения соответствующих вычислений оцениваются 0 баллов, даже если они правильные. Все численные результаты должны быть подтверждены расчетом, хотя бы коротким. Все качественные ответы должны иметь обоснование, хотя бы короткое.*

### Задача 1

Химия окружает нас повсюду: металлические и пластмассовые изделия, краски и пигменты, строительные материалы, лекарственные препараты, аккумуляторы – все это продукты химической промышленности. С некоторыми из химических веществ **А-Л** каждый из Вас точно сталкивался в жизни.

Вещество **А** – популярная пищевая добавка, раствор которой реагирует с раствором нитрата серебра с выпадением белого творожистого осадка (*реакция 1*).

Вещество **Б** продается в аптеке в виде 3%-го водного раствора, который обладает отбеливающими и дезинфицирующими свойствами. **Б** малоустойчивое соединение и при длительном хранении самопроизвольно медленно разлагается с выделением газа **В**, поддерживающего горение (*реакция 2*).

Также в аптеке всегда можно найти другой антисептик – спиртовой раствор простого вещества **Г**, единственный стабильный изотоп которого содержит в составе атомного ядра 74 нейтрона. Такой раствор зачастую вызывает жжение при нанесении на рану из-за спирта в составе, поэтому более предпочтительным является использование водной основы препарата. **Г** плохо растворимо в воде, поэтому его растворяют в водном растворе йодида калия с образованием соли с мольной долей калия 25% (*реакция 3*).

Соединение **Д** широко используется домохозяйками для чистки поверхностей и в кулинарии в качестве разрыхлителя. При его реакции с раствором соляной кислоты выделяется газ с плотностью 1,964 г/л (*реакция 4*). Соль **Д** термически неустойчива и при небольшом нагревании разлагается с потерей массы 36,9% (*реакция 5*).

Бесцветный газ **Е** – основной компонент природного газа с мольной долей углерода в молекуле 20%, используется для отопления помещений и приготовления пищи. Все дело в том, что реакция горения **Е** сопровождается выделением большого количества теплоты (*реакция 6*). **Е** не имеет запаха, поэтому в чистом виде крайне тяжело детектировать его утечку. Во избежание происшествий в **Е** всегда добавляют малую примесь вещества **Ж**, запах которого можно почувствовать около работающей газовой плиты. **Ж** содержит 51,6 масс. % серы, а также углерод и водород также углерод и водород в соотношении 1:3.

Водный раствор вещества **З** – бесцветная жидкость с резким неприятным запахом. В медицине ее используют, для того чтобы привести в чувства человека из обморочного состояния. Если в лаборатории разместить бутылки с раствором **З** и соляной кислотой недалеко друг от друга, через несколько дней под крышками сосудов образуется белый иней (*реакция 7*).

Запах свежести после грозы обусловлен присутствием в воздухе малых количеств газа **И**. При температуре 40°C и давлении 1,5 атм 56 г газа **И** занимают объём 20 л. **И** является сильным окислителем, например, может реагировать с черным сульфидом свинца с образованием белого вещества и газа **В** (*реакция 8*).

Металл **К** незаменим для изготовления кабелей и проводки из-за своей высокой электропроводности. На полное восстановление 1,0 г черного оксида металла **К** тратится 0,282 л (при н.у.) водорода (*реакция 9*).

**Л** – известный драгоценный металл, который используется для изготовления украшений. Известно, что **Л** имеет массу в 18 раз, а объём в 1,714 раза больший, чем образец воды, содержащий такое же количество атомов. Изделия из **Л** спустя долгое время обычно покрываются темной пленкой сульфида из-за небольшого содержания сероводорода в воздухе (*реакция 10*).

Дополнительно известно, что растворы солей **А** и **Д** окрашивают пламя в желтый цвет.

### **Вопросы**

1. Установите формулы соединений **А-Л**. Ответ обоснуйте и при возможности подтвердите расчетом!

Ответ структурируйте в виде таблицы в бланках ответов:

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л

2. Напишите уравнения *реакций 1-10*.

3. Плотность смеси газов **В** и **И** по водороду равна 18. Определите массовые доли газов в такой смеси.

## Задача 2

Элементарная ячейка – это минимальный повторяющийся структурный блок (параллелепипед) кристаллической решетки, многократное перемещение которого вдоль ребер на величину длины ребра (трансляция) позволяет построить весь кристалл.

Для удобства визуализации атомы (или ионы) внутри элементарной ячейки изображают в виде маленьких шариков разного размера. Однако стоит понимать, что в кристалле, элементарная ячейка окружена со всех сторон такими же структурными блоками. Таким образом, частица, располагающаяся в вершине элементарной ячейки, принадлежит на самом деле не одной, а восьми таким же ячейкам.

По аналогии: атом или ион, лежащий на ребре, принадлежит четырем ячейкам, а частица на грани – двум. И только шарик внутри элементарной ячейки не принадлежит другим. Таким образом, для нахождения числа атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку удобно пользоваться формулой:

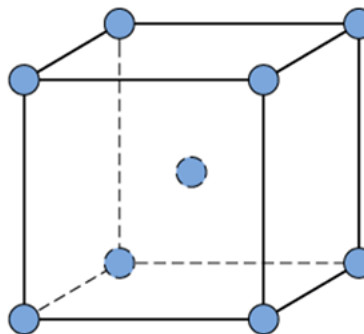
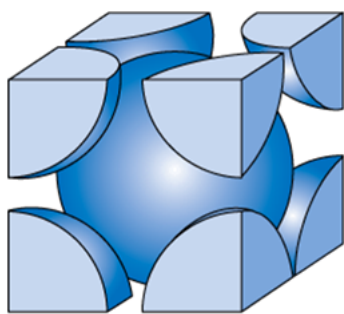
$$\Sigma N_{\text{атомов}} = \frac{N_{\text{атомов в вершинах}}}{8} + \frac{N_{\text{атомов на ребрах}}}{4} + \frac{N_{\text{атомов на гранях}}}{2} + N_{\text{атомов внутри эл. яч.}}$$

Несложно показать также, что

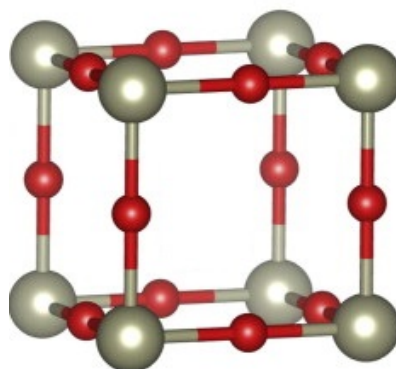
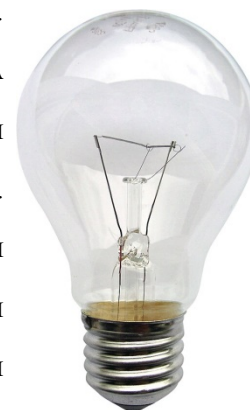
$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V} = \frac{ZM}{VN_A}, \text{ где } \rho - \text{плотность, } n - \text{количество вещества, } M - \text{молярная масса, } V -$$

объем элементарной ячейки  $N_A$  – число Авогадро,  $Z$  – число формульных единиц (количество «молекулярных» фрагментов содержащихся в одной элементарной ячейке кристалла. Оно показывает, сколько раз эмпирическая формула вещества повторяется внутри ячейки). Таким образом, плотность вещества напрямую связана с его кристаллической структурой.

Рассмотрим кристаллическую решетку металла А. Она представляет собой куб из атомов А с ребром  $a = 3,1589 \text{ \AA}$ , в центре которого находится еще один атом.



**A** – самый тугоплавкий элемент в периодической системе Д.И. Менделеева. Его плотность составляет  $19,28 \text{ г/см}^3$ . Большие количества **A** идут на изготовления жаропрочных и сверхтвердых сплавов. В быту Вы могли встретить **A** в виде тонкой ниточки внутри лампы накаливания. Интересно, что сама лампа внутри заполнена газом **B** с плотностью  $1,784 \text{ г/л}$  (при н.у.), чтобы предотвратить окисление **A** при сильном нагревании. При разгерметизации работающей лампочки ее стенки изнутри покрываются желтым налетом соединения **B** (*реакция 1*), кристаллическая решетка которого показана на рисунке.

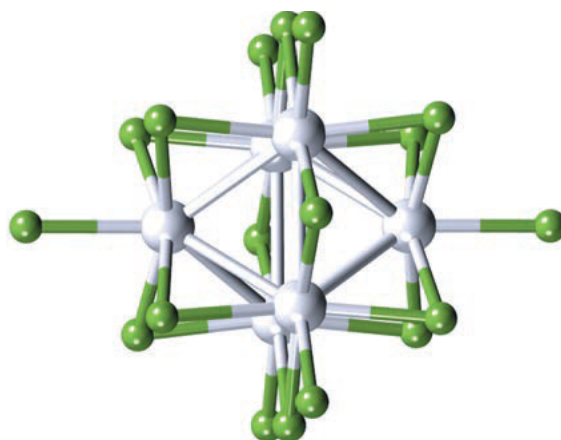


При прокаливании **B** с металлическим натрием в токе водорода, в зависимости от соотношения реагентов могут быть получены вещества различного состава и окраски, получившие название «... бронзы» (*реакция 2*). В одном из таких нестехиометрических соединений **B**  $\omega(\text{Na}) = 2.89\%$ .

В природе металл **A** встречается преимущественно в виде минерала *шеелита* состава  $\text{ЭAO}_4$ , где **Э** – металл. Известно, что в одном моле **Г** содержится  $7,588 \cdot 10^{25}$  электронов.

Очень важную роль в горнодобывающей промышленности сыграл сверхтвёрдый сплав **Д** (карбид металла **A**,  $w(\text{C}) = 6,13\%$ ) и кобальта, получивший название *победит*. Благодаря высокой твердости (близкой к алмазу), он незаменим для изготовления износостойких наконечников сверл и резцов – инструментов бурения, металлообработки и строительства.

Металл **A** образует множество красивых кластерных соединений в низших степенях окисления. Одним из них является галогенид **Е** ( $w(\text{A}) = 63,35\%$ ), структура которого показана на рисунке.



### **Вопросы**

1. Установите формулы соединений **A-E**. Ответ подтвердите расчетом и обоснуйте!
2. Напишите уравнения *реакций 1-2*.
3. Используя первый рисунок и геометрические соображения, определите радиус атома **A**.

### Задача 3

#### Подарки из Якутии

Однажды молодой химик А.С. привез на образовательную программу несколько красивых минералов своей родины, чтобы подарить своим друзьям. Сокровища Якутии их очень заинтересовали, все захотели установить химическую формулу своего подарка.

Минерал	I	II	III	IV
Фото				
Название	Хромдиопсид	Борнит	???	Гроссуляр
Кому достался подарок	А.К.	Н.Т.	В.В.	Д.П.

Анализ минералов – непростая задача, поэтому А.С. дал своим друзьям несколько подсказок:

- I и IV содержат в своем составе три одинаковых элемента и один отличающийся
- III – самый твердый из известных минералов, имеющий максимальный балл (10) по шкале Мооса. Он часто используется для изготовления ювелирных украшений.

А.К. отнесла свой минерал на рентгеноспектральный микроанализ, который позволил установить, что I содержит 18,52% Ca, 11,11% Mg, 25,93% Si, 44,44% O.

Н.Т. отколол кусочек борнита массой 0,500 г и сжег его (*реакция 1*). Выделяющийся газ с резким запахом и обесцвечивает подкисленный серной кислотой раствор перманганата калия (*реакция 2*), а при его пропускании через избыток раствора известковой воды выпал осадок

массой 0,479 г (*реакция 3*). Продуктами сгорания также являются два оксида с массовыми долями кислорода 20,11% и 30,06%, образующиеся в мольном соотношении 10:1, соответственно.

В.В. опустила образец **III** массой 0,176 г в тонкий сосуд с водой, в результате чего уровень воды поднялся на 0,050 мл. Рентгеноструктурный анализ показал, что вещество имеет кубическую кристаллическую решётку с параметром  $a = 0,357$  нм ( $10^{-9}$  м), а в его элементарной ячейке содержится 8 атомов.

Д.П. не захотел проводить никаких экспериментов и попросил DeepSeek выполнить поиск минерала по картинке. Нейросеть сообщила, что минерал очень похож на «трикальций-диалюминий-три(ортосиликат)» или «трикальций-диалюминий-диортосиликат-тетрагидроксид». С подсказкой А.С. Д.П. быстро понял формулу своего подарка.

### **Вопросы**

1. Установите формулы соединений **I-IV**. Ответ подтвердите расчетом и обоснуйте!
2. Напишите уравнения *реакций 1-3*.
3. Назовите минерал **III**.
4. Примесь какого элемента придает минералу **I** характерную зеленую окраску?

Периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева

		Г р у п п ы										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	Н <sup>1</sup> Водород							(H)				<sup>2</sup> He Гелий
	2	Li <sup>3</sup> Литий	4	5	6	7	8	9				Ne <sup>10</sup> Неон
3	Na <sup>11</sup> Натрий	12	13	14	15	16	17	18				Ar <sup>18</sup> Аргон
	4	K <sup>19</sup> Калий	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
5	Rb <sup>37</sup> Рубидий	38	39	40	41	42	43	44	45	46		
	47	Ag <sup>47</sup> Серебро	48	49	50	51	52	53	54			
6	Cs <sup>55</sup> Цезий	56	57	72	73	74	75	76	77	78		
	79	Au <sup>79</sup> Золото	80	81	82	83	84	85	86			
7	Fr <sup>87</sup> Франций	88	89	104	105	106	107	108	109	110		
	111	Rg <sup>111</sup> Рентгений	112	113	114	115	116	117	118			

\* Лантаноиды

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce <sup>140</sup> Церий	Pr <sup>141</sup> Празеодим	Nd <sup>144</sup> Неодим	Pm <sup>[145]</sup> Прометий	Sm <sup>150</sup> Самарий	Eu <sup>152</sup> Европий	Gd <sup>157</sup> Гадолиний	Tb <sup>159</sup> Тербий	Dy <sup>162,5</sup> Диспрозий	Ho <sup>165</sup> Гольмий	Er <sup>167</sup> Эрбий	Tm <sup>169</sup> Тулий	Yb <sup>173</sup> Иттербий	Lu <sup>175</sup> Лютеций

\*\* АКТИНОИДЫ

90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th <sup>232</sup> Торий	Pa <sup>231</sup> Протактиний	U <sup>238</sup> Уран	Np <sup>237</sup> Нептуний	Pu <sup>[244]</sup> Плутоний	Am <sup>[243]</sup> Америций	Cm <sup>[247]</sup> Кюрий	Bk <sup>[247]</sup> Берклий	Cf <sup>[251]</sup> Калифорний	Es <sup>[252]</sup> Эйнштейний	Fm <sup>[257]</sup> Фермий	Md <sup>[258]</sup> Менделеевий	No <sup>[259]</sup> Нобелий	Lr <sup>[262]</sup> Лоуренсий

РАСТВОРИМОСТЬ КИСЛОТ, СОЛЕЙ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ																					
	H <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Hg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	
OH <sup>-</sup>		Р	Р	Р	Р	Р	М	Н	М	Н	Н	Н	Н	Н	Н	-	-	Н	Н	Н	Н
F <sup>-</sup>	Р	М	Р	Р	Р	М	Н	Н	Н	М	Н	Н	Н	Р	Р	Р	-	Н	Н	Р	Р
Cl <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	М	Р	Р	Р
Br <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Н	М	М	Р	Р	Р
I <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	Р	?	Р	Р	Н	Н	Н	Н	М	?
S <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	-	-	-	Н	-	-	Н	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
HS <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Н	М	Н	?	?	?	?	?	М	Н	Н	Н	?	?	?
HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Р	?	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Н	М	Р	Н	Р	Р	Р	Р	Р	Р	М	-	Н	Р	Р	Р
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	Н	?	?	?
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Р
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	?	?	?	М	?	?	?	?	?
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Р	Н	Р	Р	-	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Р	?	Р	Р	Р	Н	Н	М	Н	?	?	Н	?	Н	?	?	?	?	М	Н	?
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	Р	?	Р	Р	Р	?	?	-	?	?
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Н	Н	Н	?	?	Н	-	Н	Н	Н	Н	Н	?	?	Н
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	Р	?	?	?	?	?	?	Р	?	?
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Р	Р	-	Р	Р	Р	Р	Р	Р	-	Р
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Н	Н	Р	Р	?	Н	Н	Н	Н	?	?	Н	?	Н	Н	?	?	?	Н	?	?
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	М	Р	?	Н	?	?	?	?	?	?	Н	Н	М	?	?	Р
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Н	Р	Р	Н	?	?	?	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?	?	?	?	Р	Р	Р	?	?	Р
ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	Р	?	?

«Р» – растворяется (> 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O); «М» – мало растворяется (от 0,1 г до 1 г на 100 г H<sub>2</sub>O)  
«Н» – не растворяется (меньше 0,01 г на 1000 г воды); «-» – в водной среде разлагается  
«?» – нет достоверных сведений о существовании соединений

**РЯД АКТИВНОСТИ МЕТАЛЛОВ / ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ**

Li Rb K Ba Sr Ca Na Mg Al Mn Zn Cr Fe Cd Co Ni Sn Pb (H<sub>2</sub>) Sb Bi Cu Hg Ag Pt Au  
активность металлов уменьшается →