

**Разбалловка и решения задач второго тура заочного отборочного этапа  
Химической олимпиады имени Германа Гесса 2024****Задача 1. Считалочка (Владимир Королёв)**

Растворимость нитрата серебра при температуре 20 °С составляет 222,5 г в 100 г воды. Определите, сколько молекул воды приходится на один атом серебра в насыщенном при 20 °С растворе нитрата серебра в воде? Приведите расчеты.

**Решение**

Нам необходимо определить отношение количества молекул воды к количеству атомов серебра в смеси нитрата серебра и воды. Запишем соответствующее соотношение:

$$\frac{N(H_2O)}{N(Ag)} = \frac{\nu(H_2O) \cdot N_A}{\nu(Ag) \cdot N_A} = \frac{\nu(H_2O) \cdot N_A}{\nu(AgNO_3) \cdot N_A} = \frac{m(H_2O) / M(H_2O)}{m(AgNO_3) / M(AgNO_3)} =$$
$$= \frac{100 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} \cdot \frac{107,9 + 14 + 16 \cdot 3 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{222,5 \text{ г}} = 4,24 \text{ шт}$$

**Ответ:** 4,24 шт или 17 молекул воды на 4 иона серебра.

**Разбалловка**

Выведено соотношение на массы и молярные массы	<b>5 баллов</b>
Верный расчет	<b>5 баллов</b>
Ошибка округления	<b>-1 балл</b>
Итого	<b>10 баллов</b>

**Задача 2. Такие одинаковые, но такие разные (Данила Деянков и Евгений Анохин)**

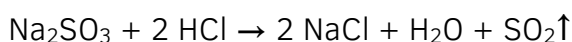
Самое сложное в проведении химических реакций — предвидеть все сторонние продукты и побочные реакции. Часто бывает такое, что разные реагенты дают визуально одни и те же вещества: бесцветный газ и бесцветный газ, белый осадок и белый осадок, также очень часто случается, что данные вещества обладают примерно одинаковыми свойствами, поэтому определить содержание каждого из них представляет собой трудную задачу, но мы всё же попытаемся её решить.

Навеску гидрокарбоната натрия с примесью сульфита натрия взвесили на весах. Полученная смесь имела массу 3,00 г. К порошку прилили 100 г 5% соляной кислоты, в ходе реакции выделилась газовая смесь, которую пропустили через известковую воду.

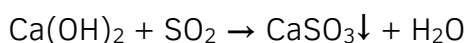
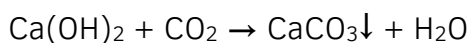
- 1) Напишите уравнения четырех протекающих в задаче реакций.
- 2) Найдите массы гидрокарбоната и сульфита натрия, если масса выделившегося в ходе последней реакции осадка так же составляет 3,00 г. Ответ подтвердите расчетом.

**Решение.**

Вначале разберемся, что за газы выделились при взаимодействии с соляной кислотой:



И как они реагируют с известковой водой (раствором  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ):



Пусть количество вещества гидрокарбоната натрия было  $x$  моль, а сульфита —  $y$  моль. Через эти количества мы можем выразить массы исходных веществ в смеси и массы сульфита и карбоната кальция в конечном осадке. Мы можем составить и решить систему уравнений:

$$\begin{cases} (23,0 + 1,0 + 12,0 + 16,0 * 3)x + (23,0 * 2 + 32,1 + 16,0 * 3)y = 3,00 \\ (40,1 + 12,0 + 16,0 * 3)x + (40,1 + 32,1 + 16,0 * 3)y = 3,00 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 84x + 126,1y = 3,00 \\ 100,1x + 120,2y = 3,00 \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = \frac{1770}{252581} \approx 7,0 \cdot 10^{-3} \\ y = \frac{690}{36083} \approx 19,1 \cdot 10^{-3} \end{cases}$$

Дальше остается только найти массы веществ:

$$m(\text{NaHCO}_3) = 0,59 \text{ г}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_3) = 2,41 \text{ г}$$

**Разбалловка**

4 уравнения химических реакций по 1 баллу — 4 балла суммарно.

Корректная запись системы уравнений — 3 балла.

Решение системы и верное определение масс веществ — 3 балла.

Верные ответы без пояснений — 0 баллов.

**Задача 3. Ни капли (Владимир Королёв)**

На заре ракетостроения ученые многих стран работали над поиском лучшего топлива — пары окислителя и восстановителя. Скоро стало понятно, что одним из лучших вариантов восстановителя является несимметричный диметилгидразин НДМГ,  $(\text{CH}_3)_2\text{NNH}_2$ , а вот с окислителем было немало проблем.

Перспективным кандидатом была азотная кислота, к примеру, на паре НДМГ- $\text{HNO}_3$  летали ракеты «Космос-3М». Очень важной характеристикой для ракет является наличие воды в азотной кислоте: чем меньше, тем лучше. Избыток воды приводил к позднему зажиганию ракетного двигателя, что могло стать причиной взрыва, или, как его нежно называли ракетостроители, «жесткого старта». Конечно, все старались брать 100% азотную кислоту, но она слишком быстро теряла стопроцентность.

Для оценки количества воды в образце ракетного окислителя провели следующие эксперименты:

1. Взяли 10,000 мл образца азотной кислоты с плотностью 1,5020 г/см<sup>3</sup>.
2. Разбавили дистиллированной водой в мерной колбе до 100,00 мл.
3. Взяли аликвоту (часть) объемом 10,00 мл, перенесли в колбу, добавили фенолфталеин, дополнительную порцию дистиллированной воды и начали титрование.
4. После того, как к раствору добавили 15,96 мл раствора NaOH с концентрацией 1,500 моль/л раствор приобрел выраженную красно-фиолетовую окраску.
5. К раствору начали по каплям добавлять раствор HCl с концентрацией 0,1000 моль/л. После добавления 1,30 мл кислоты красно-фиолетовая окраска стала настолько блеклой, что всего одной дополнительной капли хватило для полного обесцвечивания.

1) Определите массовую долю воды в образце почти 100% азотной кислоты с точностью до сотых долей процента. Приведите расчеты и уравнения реакций.

2) Напишите уравнение реакции полного окисления НДМГ азотной кислотой, с учетом того, что продуктами являются азот, углекислый газ и водный пар.

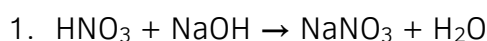
3) Каков объем газов (н.у.) выделится в соответствии с уравнением, если взять 10 мл 100% азотной кислоты (см. выше) и стехиометрическое количество НДМГ? Обратите внимание на то, что вода выделяется тоже в виде газа (пара). Приведите расчеты.

**Решение:**

Идея описанного метода титрования в том, что фенолфталеин в щелочной среде становится ярко малинового цвета, что позволяет определить точку окончания реакции и стехиометрическое соотношение между кислотой и основанием. Пока новые порции щелочи продолжают реагировать с кислотой, среда в колбе остается кислотной, а фенолфталеин — бесцветным. Как только кислота заканчивается, новая порция щелочи делает среду раствора щелочной и проявляется окраска.

Однако часто при титровании происходит «перетитрование» и точку окончания реакции определяют не точно. Поэтому для целей повышения точности использовалось обратное титрование: к прилитому избытку щелочи начинали прикапывать очень разбавленную кислоту, чтобы определить этот избыток.

1) Запишем уравнения реакций:



Видно, что количество азотной кислоты в аликвоте можно определить так:

$$v(\text{HNO}_3) = v(\text{NaOH}) - v(\text{HCl})$$

Обратим внимание на пункты 2-3 описания эксперимента. Количество азотной кислоты, которое мы определим, будет **одной десятой** от всего количества азотной кислоты в 10 мл образца.

Проведем необходимые расчеты.

$$v(\text{NaOH}) = V(\text{NaOH}) \cdot C(\text{NaOH}) = 15,96 \text{ мл} \cdot \frac{1,500 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл/л}} = 0,02394 \text{ моль}$$

$$v(\text{HCl}) = V(\text{HCl}) \cdot C(\text{HCl}) = 1,3 \text{ мл} \cdot \frac{0,1 \text{ моль/л}}{1000 \text{ мл/л}} = 0,00013 \text{ моль}$$

В аликвоте  $v(\text{HNO}_3) = 0,02381$  моль,

В 10 мл исходной кислоты — 0,2381 моль.

$$m(\text{HNO}_3, \text{образец}) = \rho \cdot V = 15,020 \text{ г.}$$

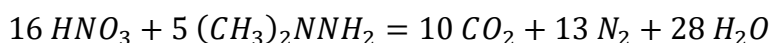
$$m(\text{HNO}_3) = v(\text{HNO}_3) \cdot M(\text{HNO}_3) = 0,2381 \cdot 63 = 15,0003 \text{ г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 0,0197 \text{ г}$$

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 0,13\%$$

Возможно, в расчетах вы использовали более точное значение молярной массы азотной кислоты, как того требует дух точности данных в условии:  $M=63,01$  г/моль. Это даст тот же самый ответ и уважение от авторов задачи.

2) Уравнение реакции:



3) Объем газов – выделится  $10+13+28=51$  моль из 16 моль азотной кислоты.

$$V = V_m \cdot \nu(\text{газов}) = V_m \cdot \nu(\text{HNO}_3) \cdot \frac{51}{16} =$$
$$= 22,4 \frac{\text{л}}{\text{моль}} \cdot 0,2381 \text{ моль} \cdot \frac{51}{16} = 17 \text{ л}$$

Ответ: 17 литров (н.у.)

Разбалловка:

Уравнения реакций	2 балла
Схема расчета содержания воды	2 балла
Верный расчет содержания воды	2 балла
Ошибка округления	-2 балла
Уравнение реакции горения НДМГ	2 балла
Вычисление объема газа	2 балла
Итого	10 баллов

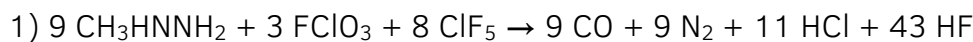
#### Задача 4. Поджигай! (Евгений Анохин)

Ракетное топливо обычно состоит из двух компонентов: окислителя и горючего. Одним из перспективных видов ракетного топлива можно считать смесь монометилгидразина ( $\text{CH}_3\text{HNNH}_2$ ) в качестве горючего и смесь перхлорилфторида ( $\text{FClO}_3$ ) и пентафторида хлора ( $\text{ClF}_5$ ) в качестве окислителя.

Перспективна эта смесь из-за образующихся при взаимодействии соединений: кислород из окислителя способен образовывать с углеродом горючего крайне устойчивую молекулу угарного газа, атомы азота при горении образует не менее устойчивую молекулу азота, а все атомы водорода соединяются со всеми атомами хлора и фтора, образуя двухатомные  $\text{HCl}$  и  $\text{HF}$ .

1) Напишите единое уравнение реакции взаимодействия окислителя и горючего; используйте наименьшие возможные целочисленные стехиометрические коэффициенты. Среди продуктов горения рассматривайте только те, что описаны выше.

2) Вычислите необходимые массы перхлорилфторида и пентафторида хлора, которые потребуются для стехиометрического окисления 1 л монометилгидразина, если его плотность составляет  $0,816 \text{ г/см}^3$ .

**Решение**

2) Вычислим количество вещества монометилгидразина:

$$\nu (\text{монометилгидразина}) = \frac{\rho V}{M} = \frac{0,816 \text{ г/см}^3 \cdot 1000 \text{ см}^3}{(12 + 6 + 28) \text{ г/моль}} = 17,739 \text{ моль}$$

Стехиометрические соотношения по этой реакции следующие:

$$\frac{\nu (\text{FClO}_3)}{3} = \frac{\nu (\text{ClF}_5)}{8} = \frac{\nu (\text{монометилгидразина})}{9}$$

Теперь остается только вычислить массы  $\text{FClO}_3$  и  $\text{ClF}_5$ :

$$m (\text{FClO}_3) = \nu (\text{монометилгидразина}) \cdot \frac{3}{9} \cdot M (\text{FClO}_3) = 17,739 \cdot \frac{1}{3} \cdot 102,5 = 606 \text{ г}$$

$$m (\text{ClF}_5) = \nu (\text{монометилгидразина}) \cdot \frac{8}{9} \cdot M (\text{ClF}_5) = 17,739 \cdot \frac{8}{9} \cdot 130,5 = 2057,7 \text{ г}$$

**Разбалловка**

Корректно написанное уравнение химической реакции со всеми реагентами, продуктами и коэффициентами — 4 балла.

Корректное использование стехиометрии для определения количеств веществ перхлорилфторида и пентафторида хлора — 2 балла.

По 2 балла за корректные вычисления масс перхлорилфторида и пентафторида хлора — 4 балла суммарно.

Верные ответы без пояснений — 0 баллов.

**Задача 5. Между строк (Владимир Королёв)**

Черные кристаллы простого вещества **X** хорошо известны своей способностью расслаиваться. Это, конечно же, связано со слоистой природой кристаллической решетки вещества **X**. Расстояние между слоями в ней известно и равно примерно 335 пикометрам (1 пикометр =  $10^{-12}$  метра).

Если смешать **X** в инертной атмосфере с расплавом щелочного металла **Y**, соли которого окрашивают пламя в фиолетовый цвет, то получится соединение **W**, окрашенное в бронзовый цвет и обладающее металлическим блеском. Интересно, что кристаллическая решетка соединения **W** состоит из буквально тех же слоев, из которых состоит **X**, между которыми вклинились атомы **Y**.

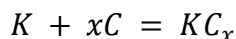
Данные рентгеновских исследований показали, что после вклинивания атомов **Y** расстояние между слоями в соединении **W** увеличилось до 535 пикометров. При этом геометрия слоев никак не поменялась. Кроме того, определено, что плотность вещества **X** составляет  $2,278 \text{ г/см}^3$ , а плотность соединения **W** немного меньше и составляет  $2,007 \text{ г/см}^3$ . Определите формулу соединения **W**, ответ подтвердите расчетом.

**Решение:**

Начнем с угадывания простых веществ. Вещество **X** это конечно же **графит**, исходя из его описания — черный, слоистый. Щелочной металл **Y** — **калий**.

Разберемся с природой **W**. Это конечно же бинарное соединение, исходя из условия задачи. Обозначим его для простоты как  $KC_x$ , где  $x$  может быть любым. Нам достаточно определить молярную массу  $KC_x$  чтобы определить его формулу. Как это сделать? Опираясь на данные об изменениях в структуре вещества!

В результате реакции произошло следующее:



Рассмотрим некоторый кусочек графита, который остался единым фрагментом. Из условия, мы можем понять, как изменился объем этого кусочка. Расстояние между углеродными слоями в нем увеличилось в  $\frac{535}{335} = 1,597$  раза, а сами параметры углеродных слоев (расстояния между атомами в слое и так далее) остались прежними. Значит и объем выбранного нами кусочка вырос в 1,597 раза.

Возьмем для простоты объем изначального кусочка графита  $1 \text{ см}^3$ . Тогда его масса равна 2,278 г. Посмотрим, как изменилась масса, с учетом новой плотности.

$$\Delta M = \rho_2 \cdot V_2 - \rho_1 \cdot V_1 = \rho_2 \cdot \frac{535}{335} V_1 - \rho_1 \cdot V_1 = 3.205 - 2,278 \text{ г} = 0,927 \text{ г}$$

Осталось определить соотношение между атомами калия и углерода в веществе:

$$v(K):v(C) = \frac{0,927}{39,1} : \frac{2,278}{12} = 0,0237:0,1898 = 1:8$$

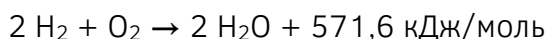
Значит **W** это  $KC_8$ .

**Разбалловка**

Определение X, Y	По 1 баллу
Вывод об изменении объема	3 балла
Расчет состава W	5 баллов
Ошибки округления	-1 балл
Ошибки расчета	-1 балл
Итого	10 баллов

**Задача 6. Связи решают (Александр Соболев)**

Тепловой эффект реакции — тепло, которое выделяется в ходе ее протекания, обычно принято записывать справа после продуктов, например, запись:



означает, что при образовании 2 моль воды из 2 моль водорода и кислорода в окружающую среду выделилось 571,6 кДж тепла.

Можно считать, что тепловой эффект связан с образованием и разрывом химических связей, так как энергия заложена именно в них, например, в нашем организме энергия запасена в связях молекулы АТФ, которую мы можем расходовать как из батарейки в удобное для нас время. Важно помнить, что при образовании любой химической связи тепло выделяется, а при разрыве любой связи — поглощается! Как правило (а в этом задании 100%) чем больше выделяется тепла в ходе реакции, тем более вероятно она будет протекать самопроизвольно. То есть реакции с большим выделением тепле идут «лучше», а реакции с меньшим выделением тепла — «хуже».

Энергия связи — это такая энергия, которую нужно потратить, чтобы порвать связь (или такая энергия, которая выделяется при образовании этой связи):

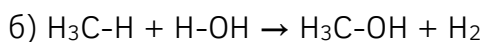
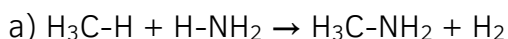
$$E(\text{C-H}) = 414 \text{ кДж/моль}^*; \quad E(\text{N-H}) = 389 \text{ кДж/моль}; \quad E(\text{C-N}) = 305 \text{ кДж/моль};$$

$$E(\text{H-H}) = 432 \text{ кДж/моль}; \quad E(\text{O-H}) = 460 \text{ кДж/моль}; \quad E(\text{C-O}) = 360 \text{ кДж/моль};$$

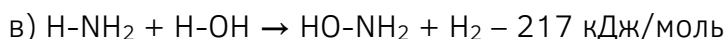
$$E(\text{N-N}) = 163 \text{ кДж/моль}; \quad E(\text{O-O}) = 146 \text{ кДж/моль}.$$

\*кДж/моль означает в случае теплового эффекта реакции, что количества веществ в молях совпадают с коэффициентами, в случае энергии связи означает энергию, необходимую на разрыв одного моля таких связей.

1) Вам предлагается оценить тепловой эффект следующих реакций, используя энергии связей, приведенные выше. Укажите, какая из указанных реакций по вашему мнению идет «лучше»?



Известен тепловой эффект реакции ниже:



2) Оцените энергию связи O-N на основании этих данных.

Известно, что двойные и тройные связи в теории должны быть прочнее, чем одинарные.

3) Рассчитайте энергию двойной связи в молекуле кислорода и сравните со значением энергии одинарной связи O-O. Действительно ли двойная связь гораздо прочнее, чем одинарная?



**Решение и разбалловка:**

1) Так как при образовании связей тепло выделяется, а при разрыве поглощается, то тепловой эффект равен разности сумм энергий новых (справа) и старых (слева) связей.

а) Образуется одна C-N и одна N-H связь, их энергии берем с плюсом, рвутся связи N-N и C-N, их энергии берем с минусом:

$$Q = 305 + 432 - 389 - 414 = -66 \text{ кДж/моль (2 балла)}$$

б) Образуется одна C-O и одна N-H связь, их энергии берем с плюсом, рвутся связи O-N и C-N, их энергии берем с минусом:

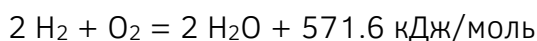
$$Q = 360 + 432 - 460 - 414 = -82 \text{ кДж/моль (2 балла)}$$

Так как тепловой эффект первой реакции больше, то она «лучше». (1 балл)

2) Составим уравнение, где за  $x$  обозначим неизвестную энергию связи N-O:

$$Q = x + 432 - 460 - 389 = -217, \text{ откуда } x = 200 \text{ кДж/моль. (2 балла)}$$

3) По изначальному уравнению:



видно, что происходит разрыв двух связей H-H и одной связи O=O (обозначим за  $y$ ), затем происходит образование четырех связей O-H, то есть можно составить уравнение:

$$571.6 = 4 \cdot 460 - y - 2 \cdot 432, \text{ откуда } y = 404.4 \text{ кДж/моль. (2 балла)}$$

Данное значение более чем в два раза больше, чем энергия связи O-O! (1 балл)

Итого максимум 10 баллов за задачу.

### Задача 7. Танец Волка — Их Вилль Нихт (Александр Соболев)

Элементы **K**, **L**, **M** образуют три простых вещества: **P**, **Q**, **R** соответственно. При нормальных условиях лишь одно из них является газом, однако наиболее часто такую комбинацию веществ можно встретить при «ненормальных» условиях в крайне распространенной в свое время конструкции — результате гениальных мыслей и озарений различных ученых и изобретателей девятнадцатого века. Под ненормальными условиями мы понимаем крайне высокую температуру, при которой лишь вещество **Q** остается в твердом виде. При крайне высоких температурах элементы **K** и **L** способны образовать несколько веществ: **LK<sub>2</sub>**, **LK<sub>3</sub>**, **LK<sub>4</sub>** с массовыми долями элемента **L** 0,4200; 0,????; 0,???? соответственно.

1) Определите массовую долю элемента **L** в соединениях **LK<sub>3</sub>** и **LK<sub>4</sub>**. Ответ подтвердите расчетами.

2) Определите элементы **K**, **L**, а также вещества **P**, **Q**, **LK<sub>2</sub>**, **LK<sub>3</sub>**, **LK<sub>4</sub>**, обосновав ответ расчетами. Известно, что один из элементов металл, а другой — неметалл.

Именно с целью образования этих веществ соединение **P** в виде газа и добавляют в небольших количествах в упомянутые устройства. При сильном нагревании с поверхности твердого **Q** испаряются атомы **L**, затем они образуют любое из трех сложных **LK<sub>x</sub>** веществ в чуть менее горячей смеси газов **P** и **R**. При попадании молекул **LK<sub>x</sub>** на горячую поверхность **Q** происходит обратная реакция разложения сложного вещества на простые, при этом поверхность **Q** регенерируется, что продлевает срок жизни устройства.

3) Напишите уравнение реакции разложения любого из веществ **LK<sub>x</sub>** на поверхности **Q**.

Газ **R** необходим в устройстве для создания необходимой среды. В данных условиях он не образует соединений с **P** и **Q**, однако все же известно соединение **A** элементов **K** и **M**, получаемое косвенным путем. Известно, что массовая доля **K** в соединении **A** составляет 0,9645, само соединение **A** является крайне нестабильным, в сухом виде может взорваться от прикосновения.

4) Определите вещество **A**, **R** и элемент **M**. Приведите пример любого другого газа, который можно использовать в нашем устройстве вместо газа **R**.

Очень упрощенно синтез вещества **A** можно описать так: необходимо смешать твердый **P** и раствор вещества **D** в соотношении 3 к 5, тогда из раствора выпадут черные кристаллы **A·D**. Побочный продукт в указанной реакции всего один, его получается в 3 раза больше, чем основного продукта. Далее вещество **A·D** нагревают в вакууме для удаления **D**, но это уже другая история.

5) Напишите уравнение описанной реакции **P** и **D**, если известно, что **D** — это водородное соединение элемента **M**.

**Решение.**

1) Если не догадаться сразу, что речь идет о лампочке, и одно из веществ —  $W$ , то задача решается так:

Из условия про массовую долю  $L$  в  $LK_2$  можно найти соотношение атомных масс элементов  $L$  и  $K$ :  $L / (L + 2K) = 0.4200$ , откуда  $A_r(L) = A_r(K) \cdot 0.84/0.58 \approx 1.4483 A_r(K)$

Отсюда можно найти массовые доли  $L$  в других соединениях:

$$\omega(L \text{ в } LK_3) \approx 1.4483 / (1.4483 + 3) = 0.3256 \text{ (0,5 балла)}$$

$$\omega(L \text{ в } LK_4) \approx 1.4483 / (1.4483 + 4) = 0.2658 \text{ (0,5 балла)}$$

2) Из условия о том, что один элемент является металлом, а другой — неметаллом, можно предположить, что  $L$  — металл (причем, поливалентный), а  $K$  — неметалл, т.к. далее речь идет о том, что вещество  $P$  (элемент  $K$ ) добавляют в виде газа, что нехарактерно для металлов.

Круг поисков можно сузить до элементов XVI–XVII групп, т.к. трудно представить себе нитриды, фосфиды или карбиды металлов, в которых мольная доля неметалла столь высока. При желании можно проверить и их, чтобы убедиться, что они не подходят. Перебор строится на полученной связи атомных масс  $L$  и  $K$ . Перебирая массы  $K$  будем получать различные массы для  $L$ .

Приведены числа для связи  $A_r(L) = A_r(K) \cdot 1.4483$

Наиболее вероятные по числам пары подбираются такие:

O (16.9) – (23.2) Na — отмечаем, так как вещества  $NaO_4$  точно не существует.

Cl (35.5) – (51.4) V, Cr — пока можно рассмотреть, хотя число 51.4 плохо подходит под массы V (50.9) и Cr (52)

Se (79.0) – (114.4) In — отмечаем, т.к. у индия не может быть селенида с такой высокой валентностью ( $InSe_4$ , валентность 8).

I (126.9) – (183.8) W — выглядит наиболее адекватно по числам, к тому же вольфрам способен проявлять такое разнообразие валентностей, к тому же способен выдерживать высокие температуры, оставаясь твердым.

Таким образом:  $K = I$  (1 балл),  $L = W$  (1 балл), соответственно, вещества из второго вопроса задачи:  $I_2$  (0,5 балла),  $W$  (0,5 балла),  $WI_2$  (0,5 балла),  $WI_3$  (0,5 балла),  $WI_4$  (0,5 балла).

3) Реакция разложения на примере  $WI_4$ :  $WI_4 \xrightarrow{-t} W + 2 I_2$  (1 балл)

4) Вещество  $A$  является соединением иода с массовой его долей 0.9645. Если предположить, что иода в соединении  $A$  один атом, то масса другого атома составит 4.67, таких элементов не существует. Попадание в адекватную массу происходит, когда атомов иода становится 3, а масса элемента  $M$  получается равной 14 — это азот (1 балл). Т.е. вещество  $A$  — это  $NI_3$  (0,5 балла), вещество  $R$  —  $N_2$  (0,5 балла). При н.у. из веществ  $W$ ,  $I_2$  и  $N_2$  только последнее является газом (поэтому  $Cl_2$  не подходит как вещество при переборе из второго вопроса).

Вместо азота можно использовать любой инертный газ, например аргон. (0,5 балла).

5) Водородное соединение азота  $D$  — это аммиак  $NH_3$ . Реакция устанавливается исходя из условий про соотношение реагентов, а также продуктов:



**Итоговая разбалловка:**

- 1) Массовые доли W в иодидах вольфрама — по 0,5 баллов. (1 балл максимум)
- 2) Элементы I, W — по 1 баллу за определение, подтвержденное расчетом. Пять загаданных веществ ( $I_2$ , W,  $WI_2$ ,  $WI_3$ ,  $WI_4$ ) — по 0,5 баллов. (4,5 балла максимум)
- 3) Реакция разложения — 1 балл. (1 балл максимум)
- 4) Определение азота — 1 балл, определение веществ A и R — по 0,5 баллов. Ответ про инертный газ — 0,5 балла. (2,5 балла максимум)
- 5) Уравнение реакции — 1 балл. (1 балл максимум)

Итого максимум 10 баллов.

**Задача 8. Исследование с дымком (Евгений Анохин)**

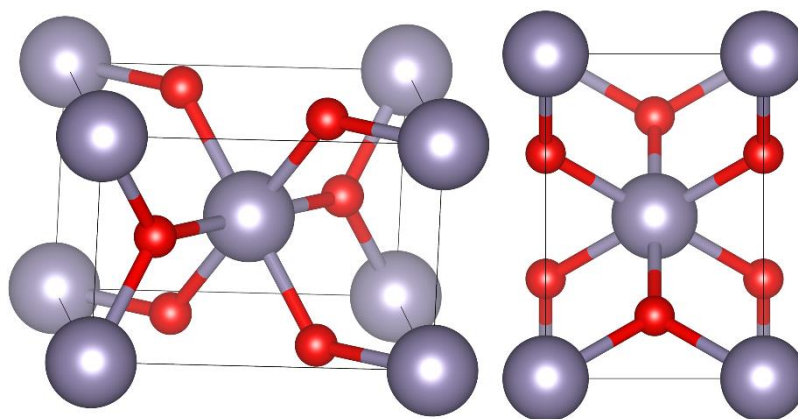
Юный Колбочкин прочитал в интернете несколько странную историю про американского радиоактивного бойскаута, который пытался собрать самодельный ядерный реактор в гараже. Для этого он использовал радиоактивный диоксида америция, который извлекал из обычных детекторов дыма.

Колбочкина очень удивило, что в обычном детекторе дыма из дома могут быть радиоактивные элементы. Он решил исследовать, из чего состоят датчики детекторов на угарный газ, которые нашел на даче у бабушки. Для начала он проверил датчики с помощью счетчика Гейгера и, к большой радости, выяснил, что они нерадиоактивные. После этого он разобрал датчик, соскоблил с металлической подложки белый порошок и начал его исследовать.

Для начала он передал порошок Приборочкину для рентгенофазового анализа. Приборочкин определил следующие факты о порошке:

- образец порошка содержит в себе только одно единственное химическое вещество;
- параметры элементарной ячейки  $a = 4,738 \text{ \AA}$ ,  $c = 3,1865 \text{ \AA}$ ,  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  ( $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$ ).

Он также приложил к описанию картинку с изображениями элементарной ячейки.



- 1) Используя изображение выше, определите количество различных атомов в одной элементарной ячейке. Приведите пояснения к ответу.

Колбочкин определил плотность изучаемого вещества, она составила  $7,00 \text{ г/см}^3$ .

- 2) Вычислите молярную массу соединения, которое исследовал Колбочкин.

Для определения химического состава порошка Колбочкин провел серию химических опытов.

1. Он прокалил навеску порошка массой 1000 мг в токе чистого кислорода при 600 °С, при этом порошок визуально не изменился, а масса навески осталась прежней.

2. Половину прокаленной навески Колбочкин растворил в небольшом избытке разбавленной серной кислоты при нагревании; порошок растворился полностью. Дальнейшее аналитическое изучение раствора показало, что в нем не содержится никаких других анионов, кроме сульфатов.

3. Вторую половину Колбочкин растворил при нагревании в избытке концентрированного раствора натриевой щелочи; порошок растворился полностью.

3) Определите химическую формулу соединения, которое используется для производства газовых сенсоров. Ответ поясните.

### Решение.

1) На картинке в задаче приведено изображение элементарной ячейки, принадлежащей к структурному типу рутила.

Серые шарики в структуре встречаются в вершинах прямоугольного параллелепипеда (8 штук) и в самом центре этого прямоугольного параллелепипеда. Если учитывать вклады (каждый атом в вершине ячейки делится между восемью ячейками, а атом в центре целиком принадлежит ячейке), то количество серых атомов в ячейке равно:

$$8 \cdot \frac{1}{8} + 1 \cdot 1 = 2 \text{ атома.}$$

Вычислим аналогично красные шарики: всего их в элементарной ячейке шесть штук, из них четыре находятся в гранях параллелепипеда и два внутри ячейки. Вклады атомов на грани составляют  $\frac{1}{2}$ , так что получается, что красных атомов в ячейке:

$$4 \cdot \frac{1}{2} + 2 \cdot 1 = 4 \text{ атома.}$$

Если обозначать серые за А и красные за В, то «формула» элементарной ячейки  $A_2B_4$ .

2) Плотность представляет собой соотношение массы элементарной ячейки к ее объему.

$$\rho = \frac{m_{\text{ячейки}}}{V_{\text{ячейки}}} = \frac{M_{A_2B_4} / N_A}{a^2 c} = \frac{M_{A_2B_4}}{a^2 c N_A}$$

$$M_{A_2B_4} = \rho a^2 c N_A = 7,00 \text{ г/см}^3 \cdot (4,738 \cdot 10^{-8} \text{ см})^2 \cdot (3,1865 \cdot 10^{-8} \text{ см}) \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \\ = 301,5 \text{ г/моль}$$

Молярная масса  $A_2B_4$  составляет 301,5 г/моль.

3) Из описания химических свойств веществ можно отметить следующее:

- Вещество не изменяется при прокаливании в кислороде, оно уже максимально окислено и возможно является оксидом.

- После растворения прокаленной навески в серной кислоте в растворе не оказалось никаких других анионов, кроме сульфатов; искомое вещество было бинарным, если бы в бинарном соединении была сера, то оно бы «обгорело» в токе кислорода и изменилось. Никаких других простых разумных предположений, кроме как «искомое вещество — оксид» не остается.

- Третий эксперимент указывает на амфотерные свойства соединения, соответственно, наш оксид должен быть амфотерным.

Попробуем вычислить второй элемент в соединении, предполагая, что это оксид:

$$M_{A_2B_4} = 301,5 = 2(x + 32); \quad x = 118,75 \Rightarrow \text{это Sn.}$$

Для изготовления газовых сенсоров используют диоксид олова  $\text{SnO}_2$ .

### Разбалловка

По 2 балла за количество серых и красных атомов — 4 балла суммарно.

Вычисление молярной массы соединения — 3 балла.

Определение формулы соединения — 3 балла.

Верные ответы без пояснений — 0 баллов.

### Задача 9. Жаль, что не все поймут, что это за минерал)))) (Данила Деянков)

Минерал **A** красного цвета с говорящим названием является одним из самых распространенных минералов элемента **X**. Возможно заядлые минералоги где-то в глубине вашей души уже рвутся написать с десяток соединений, но не будем спешить, ведь это только начало задачи. Для определения состава данного минерала его сжигают в кислороде, при этом образуется всего один продукт **B** — еще один распространенный минерал неизвестного элемента **X**. При растворении **B** в серной кислоте образуется раствор вещества **C**, которое вы не раз видели в рамках школьной программы. При разбавлении полученного раствора щелочью выпадает окрашенный осадок, по которому и можно судить о составе минерала.

Немаловажный факт заключается в том, что исходный минерал **A** плохо растворяется в воде, щелочах и слабых кислотах. Однако, если залить его раствором аммиака, то он со временем переходит в раствор в виде бесцветного соединения **D**. При нагревании окраска этого раствора медленно становится ярко-синей, что можно связать с образованием вещества **E**, а в осадок выпадает простое вещество **X**. Соединение **E** также можно получить при добавлении раствора аммиака к **C**.

Определите элемент **X** и неизвестные вещества при условии, что бинарные **A** и **B** имеют одинаковый качественный состав; вещества **D** и **E** также имеют одинаковый качественный состав, они представляют собой комплексные соединения с 2 и 4 молекулами аммиака в своем составе, соответственно.

**Решение:**

При сжигании минерала **A** в кислороде образуется единственное соединение **B** с точно таким же составом, значит и **A**, и **B** содержат только кислород и элемент **X**. Это оксиды одного и того же элемента в разных степенях окисления. При растворении оксида **B** в серной кислоте, вероятно, образуется сульфат, который известен всем из школьной программы, данная строчка намекает на небезызвестный медный купорос, но качественного подтверждения данной гипотезе стоит ожидать в следующих предложениях. При реакции с сильным основанием в осадок скорее всего выпадает гидроксид металла **X**.

Минерал, нерастворимый в воде, кислотах и щелочах, может переходить в раствор за счёт комплексообразования с аммиаком, что и подтверждают последние строчки из условия. При нагревании неустойчивая степень окисления элемента **X** может диспропорционировать на две устойчивые степени окисления, одна из которых и даёт ярко-синий цвет раствору. В присутствии аммиака ярко-синий цвет раствору даёт двухвалентная медь в составе комплексной частицы  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ , что прекрасно соотносится с условием о том, что соединение **E** имеет четыре молекулы аммиака в составе, а значит элемент **X** – **Cu**. Значит первые два соединения — это два оксида меди. **A** –  $\text{Cu}_2\text{O}$ , **B** –  $\text{CuO}$ . При реакции с аммиаком оксид меди (I) может переходить в раствор в виде комплекса **D** –  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ . О составе аниона можно судить по тому, что помимо соединения **A** и раствора аммиака в реакционной смеси больше ничего не содержалось. Так как соединения **D** и **E** имеют одинаковый качественный состав, то **E** –  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ , сульфат-анион будет противоречить условию. При реакции оксида меди (II) серной кислотной конечно же образуется сульфат меди, который в виде пятиводного кристаллогидрата часто встречается в школьной программе под названием медный купорос, **C** –  $\text{CuSO}_4$ .

**Разбалловка**

Определение элемента <b>X</b> (1 балл элемент)	1 балл
Определение веществ <b>A</b> , <b>B</b> , <b>C</b> (1 балл за каждое)	3 балл
Определение веществ <b>D</b> , <b>E</b> (3 балла за каждое)	6 баллов
Итого	10 баллов

**Задача 10. Мастер зелий (Данила Деянков)**

Гарри и Гермионе осталось пройти последнюю комнату, чтобы получить философский камень и спасти мир от возрождения Волан-де-Морта. Финальное испытание для них подготовил профессор по зельям — Северус Снейп.

Войдя в комнату, герои увидели стол, на котором стояло шесть пробирок с жидкостями, все пронумерованы слева направо. Рядом с ними лежал свиток пергамента. Текст гласит:

Впереди опасность, то же позади,  
Перед тобой пробирки, их ты не обходи.  
Чтобы пройти дальше, состав определи  
И с самой безопасной спокойно ты иди.

Но не спеши проверить свое ты мастерство,  
Впереди подсказки для здорового умом,  
В каждом из сосудов одно лишь неизвестно вещество,  
Поэтому, пока что, не думай о плохом.

Подсказка первая, храбрец отважный:  
В четвертой справа спрятан дьявол ловко,  
Он почти брат **шестой** немаловажный,  
Их в одну строку определила сортировка.

Дает осадок он с купоросным маслом,  
И выпадает белый с нитратом серебра.  
Пламя зелено дает кусочек пазла,  
И краски с бихроматом калия.

Брат из **шестой** имеет тот же анион,  
А катион является соседом слева.  
0,79 металла имеет вон по массе он,  
И пламя голубеет от нагрева.

Возрадуйся, в **четвертой** — простое вещество.  
Узнать его не сложно — лишь посмотри в него,  
Увидишь ты свое румяное лицо,  
Как будто серебро налилось в озерцо.

**Первый, пятый и второй** сосуды  
Один и тот же имеют катион,  
Окрашивает пламя в желтый, как причуды,  
Всего три s-подуровня имеет он.

Давай же разберемся кто в них есть кто:  
Вещество из **пятой** схоже с **третьим** и **шестым**,  
Но знают про него все люди на все сто.  
Как отгадаешь, покажется оно простым,

Раствор же соли из **второй**  
Реакцией обмена получают ловко:  
Смешай каустик с кислотой,  
Ее синильной называет кодировка.

Наконец же, **первое** ты отгадай:  
Разложится оно, и газ получишь точно,  
0,97 по воздуху, ты посчитай,  
Один лишь элемент в нем связан прочно.



Коль смог ты порешать мою загадку,  
Гордись собой, мой друг,  
Не каждый может отыскать отгадку,  
Лишь тот, кто понял вкус наук.

- 1) Установите состав всех пробирок. С каким из веществ можно пройти дальше?
- 2) Приведите формулы веществ и уравнения всех реакций (всего пять).

### Решение

Решать данную задачу мы будем, тщательно анализируя каждое четверостишие. В первом четверостишие нас просят определить состав веществ в пробирках, а также определить самое безопасное из них *«и с самой безопасной спокойно ты иди»*. Во втором четверостишие нас пытаются успокоить тем, что в каждой пробирке находится всего одно неизвестное вещество (индивидуальное). В третьем четверостишие начинается описание химических свойств веществ.

*«В четвертой справа спрятан дьявол ловко, Он почти брат **шестой** немаловажный, Их в одну строку определила сортировка»* — четвертая справа пробирка является третьей, если считать от начала нумерации, словосочетание *«брат шестой»* означает, что вещества в третьей и шестой пробирке похожи.

*«Дает осадок он с купоросным маслом, И выпадает белый с нитратом серебра. Пламя зелено дает кусочек пазла, И краски с бихроматом калия»* — вещество из третьей пробирки реагирует с серной кислотой (купоросное масло), давая осадок, то есть скорее всего сульфат металла, входящего в состав данного соединения, нерастворим. Белый осадок с нитратом серебра — это скорее всего хлорид, а значит в пробирке №3 находится хлорид металла. Учитывая, что катион данного металла окрашивает пламя в зеленый цвет, а также с дихроматом калия получается вещество, которое используется как краски, можно сделать вывод о том, что в пробирке под номером 3 находится сульфат бария ( $\text{BaCl}_2$ ).

*«Брат из **шестой** имеет тот же анион, А катион является соседом слева. 0,79 металла имеет вон по массе он, И пламя розовеет от нагрева»* — в пробирке под номером шесть видимо находится раствор хлорида другого металла, так как нам говорят о том, что анион аналогичен тому, что находится в третьей пробирке. Словосочетание *«сосед слева»* очевидно относится к месторасположению элементов в периодической системе химических элементов, а значит, что катионов является  $\text{Cs}^+$ . В шестой пробирке находится хлорид цезия ( $\text{CsCl}$ ), что можно подтвердить и по массовой доле:  $\omega = \frac{M_{\text{Cs}}}{M_{\text{CsCl}}} = \frac{132,9 \text{ г/моль}}{168,4 \text{ г/моль}} \approx 0,79$ .

*«Возрадуйся, в **четвертой** — простое вещество. Узнать его не сложно — лишь посмотри в него, Увидишь ты свое румяное лицо, Как будто серебро налилось в озерцо»* — в данном четверостишие говорится о том, что в некотором простом веществе возможно увидеть своё отражение. Сравнение простого вещества с серебром, а также жидкое агрегатное состояние намекает нам на то, что в пробирке под номером 4 находится ртуть ( $\text{Hg}$ ).

*«Первый, пятый и второй сосуды Один и тот же имеют катион, Окрашивает пламя в желтый, как причуды, Всего три s-подуровня имеет он»* — и 1, 5 и 2 находится катион с тремя

s-подуровнями, который окрашивает пламя в желтый цвет, это точно натрий, а значит вещества в данных пробирках будут солями натрия.

«Давай же разберемся кто в них есть кто: Вещество из **пятой** схоже с **третьим** и **шестым**, Но знают про него все люди на все сто. Как отгадаешь, покажется оно простым» — в третьей и шестой пробирках находятся хлориды бария и цезия, что позволяет сделать вывод о том, что всем известным веществом из пробирки под номером пять является поваренная соль или же хлорид натрия (NaCl), так как катионом является натрий, а схожесть намекает на аналогичность анионов.

«Раствор же соли из **второй** Реакцией обмена получают ловко: Смешай каустик с кислотой, Ее синильной называет кодировка» — вещество из второй пробирки получается при смешении каустика, то есть гидроксида натрия, с синильной кислотой, то есть с циановодородом, а значит вещество в пробирке под номером 2 — это цианид натрия (NaCN).

«Наконец же, **первое** ты отгадай: Разложится оно, и газ получишь точно, 0,97 по воздуху, ты посчитай, Один лишь элемент в нем связан прочно» — соль натрия, которая при разложении даёт газообразное простое вещество с молярной массой равной 28 г/моль, а значит это азот. Азот мог бы получаться при разложении азида натрия (NaN<sub>3</sub>).

В итоге получаем:

1 — NaN<sub>3</sub>                      2 — NaCN                      3 — BaCl<sub>2</sub>  
4 — Hg                          5 — NaCl                      6 — CsCl

Очевидно, что самым безопасным является NaCl — поваренная соль.

Уравнения реакций:

- 1)  $\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2 \text{HCl}$
- 2)  $\text{BaCl}_2 + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + 2 \text{AgCl}\downarrow$
- 3)  $\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{BaCrO}_4 + 2 \text{KCl} + \text{H}_2\text{CrO}_4$
- 4)  $\text{NaOH} + \text{HCN} \rightarrow \text{NaCN} + \text{H}_2\text{O}$
- 5)  $2 \text{NaN}_3 \rightarrow 2 \text{Na} + 3 \text{N}_2$

### Разбалловка

Определение веществ в пробирках 1–6 (1 балл за каждое)	6 баллов
Ответ на вопрос о безопасном веществе (1,5 балла)	1,5 балла
Уравнения пяти реакций (0,5 баллов за каждое)	2,5 балла
Итого	10 баллов