

Задачи второго тура заочного отборочного этапа Химической олимпиады имени Германа Гесса 2024

Задача 1. Считалочка

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.

Задача 2. Такие одинаковые, но такие разные

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.

Задача 3. Ни капли

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- 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/см³.
 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.

Задача 4. Поджигай!

Ракетное топливо обычно состоит из двух компонентов: окислителя и горючего. Одним из перспективных видов ракетного топлива можно считать смесь монометилгидразина (CH_3HNNH_2) в качестве горючего и смесь перхлорилфторида (FClO_3) и пентафторида хлора (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 HCl и 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 $0,816 \text{ г/см}^3$.

Задача 5. Между строк

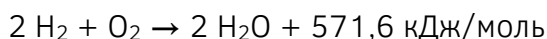
Черные кристаллы простого вещества **X** хорошо известны своей способностью расслаиваться. Это, конечно же, связано со слоистой природой кристаллической решетки вещества **X**. Расстояние между слоями в ней известно и равно примерно 335 пикометрам (1 пикометр = 10^{-12} метра).

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.

Задача 6. Связи решают

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):

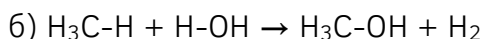
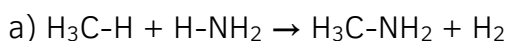
$$E(\text{C-H}) = 414 \text{ кДж/моль}^*; \quad E(\text{N-H}) = 389 \text{ кДж/моль}; \quad E(\text{C-N}) = 305 \text{ кДж/моль};$$

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

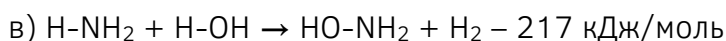
$$E(\text{N-N}) = 163 \text{ кДж/моль}; \quad E(\text{O-O}) = 146 \text{ кДж/моль}.$$

*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?

Задача 7. Танец Волка — Их Вилль Нихт

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: **LK₂**, **LK₃**, **LK₄** с массовыми долями элемента **L** 0,4200; 0,????; 0,???? соответственно.

1) Определите массовую долю элемента **L** в соединениях **LK₃** и **LK₄**. Ответ подтвердите расчетами.

2) Определите элементы **K**, **L**, а также вещества **P**, **Q**, **LK₂**, **LK₃**, **LK₄**, 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_x** веществ в чуть менее горячей смеси газов **P** и **R**. При попадании молекул **LK_x** 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_x** 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**.

Задача 8. Исследование с дымком

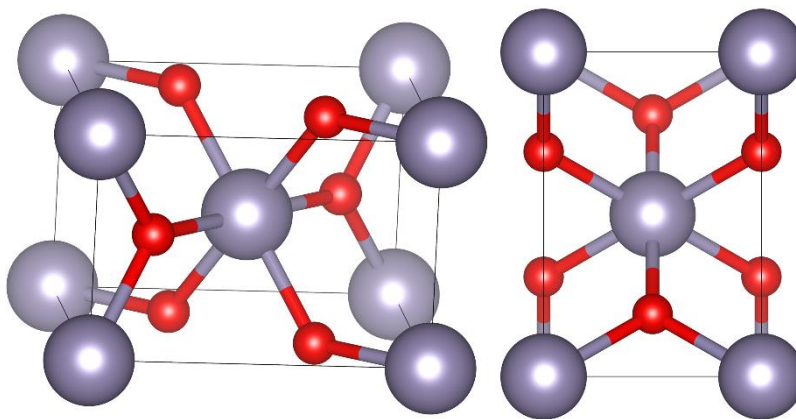
Юный Колбочкин прочитал в интернете несколько странную историю про американского радиоактивного бойскаута, который пытался собрать самодельный ядерный реактор в гараже. Для этого он использовал радиоактивный диоксида америция, который извлекал из обычных детекторов дыма.

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 $600 \text{ }^\circ\text{C}$, 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.

Задача 9. Жаль, что не все поймут, что это за минерал))))

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 десятков 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.

Задача 10. Мастер зелий

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 здравого 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).