

ТЕКСТЫ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ РЕГИОНАЛЬНОГО ЭТАПА
ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ ПО ХИМИИ

(для участников)

1 тур

2023–2024

Теоретический тур

Десятый класс

Задача 10-1

В неизвестную жидкость массой 13.0 г внесли порошок металла **X** массой 5.6 г. Реакция прошла полностью и образовался жёлтый крупнокристаллический осадок **Y** массой 7.2 г. Газ, полученный при сжигании 3.6 г **Y** в токе воздуха, пропустили через склянку с известковой водой. Известковая вода помутнела, а масса склянки увеличилась на 1.6 г. В лодочке после сжигания остался коричневый порошок **Z** массой 3.2 г.

Для анализа неизвестной жидкости отобрали пробу массой 6.5 г и сожгли. При этом наблюдалось пламя синего цвета, и образовалась газовая смесь с плотностью по воздуху 2.0, которую поглотили известковой водой. Склянка с помутневшей известковой водой стала тяжелее на 14.5 г.

1. Определите вещества **X**, **Y** и **Z**.
2. Определите качественный и количественный состав жидкости.
3. Запишите уравнения проведенных реакций (5 уравнений).

Задача 10-2

Металл-оборотень

Стекло научились красить еще очень давно: так, немецкие горняки использовали популярную в их местах руду для окраски стекла. Руда имела цвет, характерный для металла **Y**, но выделить этот металл из данной руды не удавалось. Решив, что в деле замешаны духи, рудному минералу дали обидное прозвище, которое впоследствии частично перешло и к металлу **X**.

В 1751 году одному шведскому ученому все же удалось выделить металл **X** из описываемой руды. Для этого в одном из своих экспериментов он растворил в царской водке 500 г руды, на две трети состоящей из минерала **Z** (**p-ция 1**). Удалив нерастворимые примеси и упарив раствор, он решил разбавить фильтрат и поместить в него железный гвоздь, чтобы доказать наличие металла **Y**, но ничего не произошло. Сделав вывод, что руда не содержит **Y**, ученый продолжил опыты: с помощью обжига такого

же количества руды он смог получить вещество **A**, которое впоследствии восстановил углем и с выходом в 60% неожиданно получил 87.81 г серебристого металла **X** (р-ции 2, 3).

В современном мире металл **X** имеет большое промышленное значение, в первую очередь как легирующий агент при производстве различных сталей. Этим металлом также покрывают изделия из других металлов для предупреждения коррозии. Его используют и для создания монет, но не в таких масштабах, как **Y**. Для всего этого требуется чистый металл, который простым восстановлением получить нельзя. Один из методов очистки – синтез вещества **B** с дальнейшим его разложением. Для этого над техническим металлом **X** под небольшим давлением пропускают ядовитый газ **C** (р-ция 4), в результате чего весь металл переходит в жидкость **B**, которую дальше нагревают до 200°C, получая чистый **X** и газ **C**.

1. Металлы **X** и **Y** находятся в одном периоде таблицы Д.И. Менделеева. Определите эти металлы, вещества **A** – **C** и минерал **Z**. Ответы обоснуйте.
2. В какой цвет окрашивали стекла немецкие горняки при помощи руды?
3. Вещество **B** имеет молекулярное строение. Изобразите его геометрию, укажите координационный полиэдр металла **X**.
4. Запишите уравнения реакций 1 – 4.

Задача 10-3

Студент второго курса химфака Петя осторожно постучал в дверь кабинета старого и недоброго преподавателя Василия Ивановича.

- Можно?

Заметив нерадивого студента, Василий Иванович тяжело вздохнул:

- Входи.

Покопавшись в ящике стола, он достал несложную задачу по аналитической химии. Петя приходил пересдавать ее уже в пятый раз. Юноша взял листочек и тихонько присел за краешек стола. Василий Иванович вернулся к книге, от которой его оторвал непрошенный гость.

Прочитав условие, Петя воодушевился. Задача выглядела совсем

несложной. Потратив десять минут на вычисления и записи, он решился потревожить профессора:

– Я всё.

Василий Иванович поправил очки, вчитываясь в непонятные каракули. Десяти секунд ему хватило на то, чтобы убедиться, что на листочке написана полная чушь.

– Молодой человек, кажется, вам пора вернуться на первый курс и заново учить неорганическую химию. Кислоту, о которой идёт речь в условии, не трёхосновная! Она одноосновная, и вы это должны прекрасно знать! Да и сильной она не является, что можно заметить, если внимательно прочесть условие. Но, так и быть, я дам вам ещё шанс.

Петя благодарно закивал и вновь затаился на углу стола, перечитывая задачу. Спустя пятнадцать минут несложных вычислений он с гордостью представил профессору новый ответ: $\text{pH} = 1.265$.

На этот раз Василий Иванович ещё быстрее нашёл ошибку:

– Я не могу сказать, что использованная вами формула неправильная, но есть один нюанс: концентрация протонов у вас получилась выше, чем концентрация кислоты! Думайте ещё.

На сей раз Петя обратился не только к остаткам своих знаний, но и к шпаргалке, припасённой в кармане. Квадратное уравнение, впрочем, пришлось решать своими силами, но на это Петиных навыков хватило. Новый ответ, $\text{pH} = 1.491$, Петя представил профессору уже с меньшим пафосом, однако бояться в этот раз не стоило: Василий Иванович удовлетворительно кивнул. Решив – на сей раз куда быстрее и увереннее – дополнительную задачу на расчёт pH 4.5 %-го раствора натриевой соли той же кислоты с плотностью 1.04 г/мл (ответ здесь получился 7.50), Петя выбежал из кабинета профессора с долгожданной тройкой в зачётке.

– Спасибо, Василий Иванович, дай Бог здоровья!

1. Не используя численных данных задачи, предложите две возможные формулы неорганических кислот, которым могла быть посвящена задача.

Почему эти кислоты не являются трёхосновными? Изобразите структурные формулы нейтральной формы и аниона каждой из кислот.

2. Установите константу кислотности и концентрацию раствора неизвестной кислоты. Приведите ваши расчёты и рассуждения.
3. Рассчитайте молярную концентрацию 4.5 %-го раствора мононатриевой соли этой кислоты и установите её формулу.
4. Какое значение рН Петя получил в первом случае, считая кислоту трёхосновной и сильной по всем трем ступеням?

Задача 10-4

Два равновесия – четыре атома

В газовой фазе для элемента А устанавливаются следующие равновесия:



1. Какие два химических элемента в газовой фазе проявляют именно такие свойства? Изобразите структурные формулы молекул A_2 и A_4 для любого из них.
2. Запишите выражения для констант равновесия обеих реакций. Для удобства используйте обозначения m для давления мономера (А), d – для давления димера (A_2), t – для давления тетрамера (A_4).

Точный анализ подобных выражений бывает затруднителен, однако принцип Ле Шателье позволяет получить качественную картину данной системы равновесий.

3. Качественно изобразите графики зависимости мольной доли мономера, димера и тетрамера от общего давления при фиксированной температуре (отобразите, выходит ли график на предел при очень больших и при очень маленьких давлениях, имеет ли максимумы и/или минимумы).

В серии экспериментов изучался состав пара А в зависимости от давления. Для этого при фиксированной температуре пары чистого А₄ помещали в сосуд постоянного объёма при начальном давлении p_0 , после чего дожидались установления равновесия и фиксировали общее давление в сосуде p .

4. Получите выражения для p и p_0 через K_1 , K_2 и m . Приведите выкладки.

Мономер в эксперименте фиксировали методом ЭПР. Оказалось, что в экспериментах, для которых p близко к исходному p_0 , с хорошей точностью выполняются следующие соотношения для m при двух температурах:

$$\text{- при температуре 1030 К: } m = \alpha(p - p_0) - 10.2(p - p_0)^2;$$

$$\text{- при температуре 1050 К: } m = \alpha(p - p_0) - 4.18(p - p_0)^2.$$

Значение α оказалось одинаковым для двух температур. Соотношения записаны для давлений в бар.

5. Рассчитайте константу равновесия K_1 при двух температурах (1030 К и 1050 К) и величину α . По этим данным определите $\Delta_r H^\circ$ и $\Delta_r S^\circ$ первой реакции, считая, что они не зависят от температуры. Приведите Ваши выкладки.

Для решения п.4 воспользуйтесь тем, что для небольших x :

$$\sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{x}{2} - \frac{x^2}{8}.$$

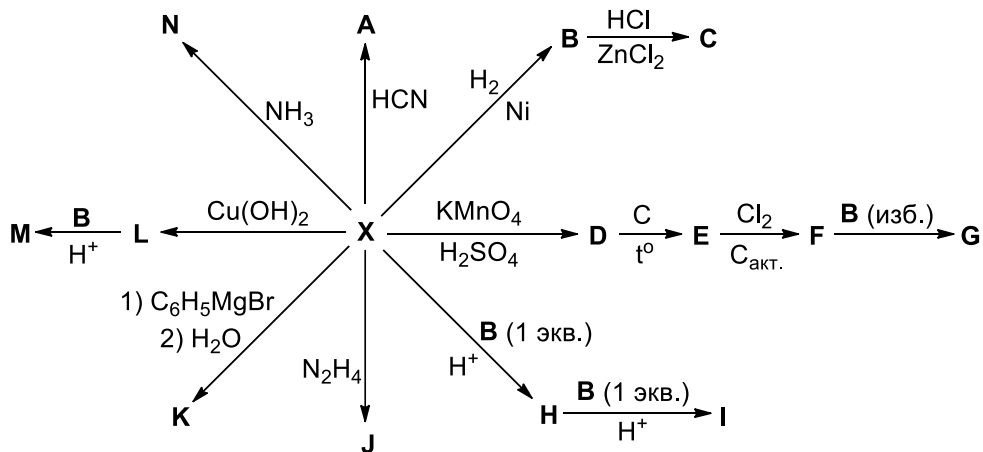
Задача 10-5

Окислитель или восстановитель?

Вещество X, существующее при комнатной температуре и атмосферном давлении в газообразном состоянии, может проявлять окислительные, восстановительные и электрофильные свойства. Для полного поглощения 3.00 мг X требуется 150 мл щелочного раствора иода с концентрацией 0.240 г/л. При последующей нейтрализации щёлочи и титровании избытка иода 0.0105 М раствором тиосульфата натрия на титрование уходит 8.00 мл раствора Na₂S₂O₃.

1. Определите вещество X и напишите уравнения протекающих реакций.

Вещество X способно вступать во множество реакций, некоторые из них представлены на схеме ниже.



Дополнительно известно, что соединение **N** содержит 51.4% углерода и 40.0% азота по массе.

2. Определите все зашифрованные на схеме вещества **A–N**. Напишите уравнение реакции **X** с раствором перманганата калия, подкисленным серной кислотой.

3. Вещество **X** склонно к полимеризации и сополимеризации. Приведите структуры элементарных звеньев полимера **X**, а также сополимера **X** с фенолом. Учтите, что в ходе образования сополимера нуклеофильные свойства проявляют атомы углерода фенола.