61-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Первый отборочный этап 2022-2023 уч. года

Задания по химии

9 класс

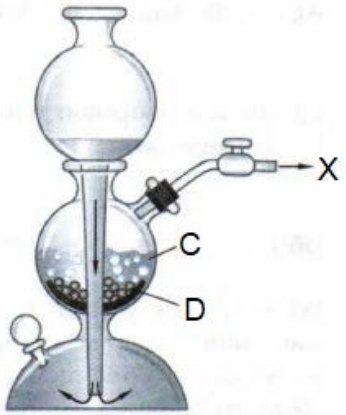
ФЕН НГУ

Вслед за Годом науки и технологий Президент РФ объявил 2022-2031 гг. Десятилетием науки и технологий. Задачей № 1 этого десятилетия является привлечение талантливой молодежи в сферу исследований и разработок. С 2022 по 2031 год в России будет идти работа по 18 различным инициативам и проектам. Инициатива "Наука побеждать" направлена на создание новых и совершенствование имеющихся механизмов выявления талантливой молодежи посредством проведения олимпиад, конкурсов и иных интеллектуальных соревнований. В рамках этой инициативы уже в этом году планируется привлечь к участию в таких состязаниях более 7 млн школьников.

Методическая комиссия ВООШ по химии надеется на то, что участие в нашей олимпиаде окажется для Вас важнейшим шагом на нелегком пути в настоящую науку и посвящает предлагаемый Вам комплект заданий Десятилетию науки и технологий.

<u>Задание 1.</u> «Рождающий А».

Мировое потребление вещества **X** составляет около 75 млн тонн. Из них более 75 % производится каталитической водяной конверсией (реакция с парами воды) природного газа (его основным компонентом является метан CH_4) при температурах порядка 1000 °C **[реакция 1]**, а почти все остальное – паровой конверсией угля **[2]** при таких же температурах. Для увеличения выхода **X** после проведения реакций **[1]** и **[2]** полученный газ пропускают над оксидным катализатором (например, $CuO+ZnO+Al_2O_3$) при температуре 200-250 °C, проводя т.н. «реакцию водно-газового сдвига» **[3]**. Наиболее чистый **X** получают электролизом вещества **A** **[4]**, в котором растворено некоторое количество щелочи. Такой **X** представляет собой газ 99,7–99,8 % чистоты, а в виде примеси он содержит только воздух. Для очистки этот газ пропускают через башню с активной медью при нагревании **[5]**, а затем через трубу с пентаоксидом фосфора **[6]** или хлоридом кальция. Такой **X** можно применять для большинства лабораторных целей, так как присутствие незначительного количества газа **B** редко служит помехой.



1. Напишите формулы веществ **X**, **A**, **B** и уравнения реакций **[1] – [6]**. Зачем нужна щелочь в процессе получения **X** по реакции **[4]**?

При помощи аппарата, представленного на рисунке, **X** обычно получают в лабораторных условиях посредством взаимодействия сложного вещества **C** с металлом **D** **[7]**. При этом из 13 г **D** можно получить до 4,48 л **X** (объем **X** измерен при нормальных условиях, н.у.). Помимо этого, в результате реакции **[7]** образуется раствор вещества **E** с массовой долей металла в веществе 40,5 %.

2. Напишите формулы веществ **C** – **E** и уравнение реакции **[7]**. Назовите фамилию человека, который придумал аппарат, изображенный на рисунке. Рассчитайте массовую долю **E** в растворе, если для реакции с 13 г **D** использовать 700 мл 20 % раствора **C** с плотностью 1,14 г/мл. Предложите еще один лабораторный способ получения вещества **X** **[8]**. Соединения, относящиеся к тому же классу, что и вещество **C**, использовать нельзя.

Газ **X** в основном проявляет свойства восстановителя, но при этом почти всегда реагирует только при нагревании. Вам представлен список реагентов: Al_2O_3, CuO, I_2, KOH, Fe_2O_3, CO. Не все из представленных веществ могут реагировать с **X**, реагирует лишь часть из них с образованием веществ **1** – черный порошок с ω(O) = 27.59 % **[9]**, **2** – красно-розовое простое вещество **[10]**, **3** – бесцветный газ **[11]**, **4** – бесцветный газ **[12]**. Известно, что **1** является компонентом распространенного минерала магнетита, а масса 1 л газа **3** в 8 раз меньше массы 1 л газа **4** (массы газов измерены при н.у.). Отметим, что в реакциях **[9-11]** также образуется вещество **A**.

3. Из представленных выше веществ выберите те, которые могут реагировать с газом **X**, напишите уравнения этих реакций **[9] – [12]** и формулы образующихся продуктов **1** – **4**. Предложите свой список из пяти *сложных* (в смысле не простых) веществ, которые могут реагировать с **X** при н.у. или при нагревании.

Однако, **X** может проявлять и свойства окислителя, реагируя со многими простыми веществами при

нагревании. Вам снова представляется список веществ: Li, S, Si, U, P, Ca. Снова не все из представленных веществ могут реагировать с **X**, однако можно получить соответствующие бинарные соединения **5 - 10** другими способами. Вещества **5**, **6**, **7** представляют собой бесцветные ядовитые газы, **5** можно получить по реакции **[13]**, посредством взаимодействия вещества **C** со спёком песка (его основной компонент – SiO_2) с магнием **[14]**, газ **6** с запахом тухлых яиц причастен к почернению серебряных изделий на воздухе **[15]**. Чистый **7** не имеет запаха, однако запах технического **7** обычно описывают как запах тухлой рыбы или чеснока. Вещества **8**, **9**, **10** представляют собой твердые порошки. **8** используют для синтеза весьма распространенного в органической химии восстановителя с массовой долей атомов самого легкого элемента в нем 10,53 %. **9** можно использовать для получения экстремально чистого **X** посредством реакции разложения, при этом из 1,000 г вещества **9** можно получить до 139,4 мл (н.у.) **X**. Долгое время считалось, что **10** нельзя получить взаимодействием простых веществ, однако в 1992 г. российские ученые осуществили данный синтез при огромном давлении (выше 20 тыс. атм) и при температуре более 500°C. Отметим, что в ряду соединений **5**, **9**, **6**, **8** мольная доля атомов **X** убывает.

4. Напишите формулы соединений **5-10** и отметьте среди них те, которые можно получить посредством взаимодействия простых веществ. Напишите уравнения реакций **[13] – [15]**. Предложите лабораторные способы получения веществ **5 - 10** (уравнения реакций с условиями). Предложите свой список из шести простых веществ, которые могут реагировать с **X** в каких-либо условиях (температура, давление, наличие катализатора). Учтите, что все элементы, образующие Ваши простые вещества, должны находиться в разных группах короткопериодной ПСХЭ (напр. Cu и Zn, но не Cu и K).

<u>Задание 2.</u> «Такой нужный X».

Прогнозируемый многими учеными рост производства металла **X** связан с созданием его сплавов с алюминием, все более активно использующимся в авиационной и космической технике. Легирование алюминия металлом **X** позволяет не только снизить массу, но и увеличить прочность, а также коррозионную стойкость материала. На самом деле это довольно удивительно, поскольку металл **X** является достаточно активным металлом. Он напрямую взаимодействует с молекулярным азотом **[реакция 1]**, кислородом **[2]**, водой **[3]**. Его химические свойства аналогичны как свойствам мягкого серебристого металла **Y**, находящегося в одной подгруппе с металлом **X** в соседних клетках, так и свойствам легкого ковкого металла **Z**, обладающего диагональным сходством с элементом **X**.

Исходным сырьем для получения металла **X** и его соединений обычно служит алюмосиликатный минерал сподумен (соотношение атомов элементов **X**:Al:Si в основном компоненте этого минерала 1:1:2). По одной из технологических схем измельченный минерал прокаливают с избытком негашеной извести при 1200 °C **[4]**, а образующийся плав, содержащий 2 продукта реакции и избыток извести, обрабатывают водой **[5, 6]**. Сильнощелочной раствор образовавшегося в ходе реакции **[6]** вещества **W** отфильтровывают от трех малорастворимых соединений кальция, образовавшихся в реакциях **[4-6]** и упаривают, получая кристаллы вещества **W**. Вещество **W** затем используют для получения нужных солей металла **X**, в том числе его хлорида **[7]**, электролизом расплава которого получают сам металл **X** **[8]**.

Помимо легких сплавов, металл **X** и его соединения имеют множество разнообразных областей применения в человеческой деятельности. Вот список некоторых из них

A. Электроэнергетика. Портативные химические источники тока (батарейки) на основе металла **X** способны создавать напряжение до 3,6 В, что выше, чем у любых других батареек. Аккумуляторы такого типа используются в кардиостимуляторах, компьютерах и других портативных устройствах.

B. Термоядерная энергетика. Один из изотопов **X**, вступая в реакцию с тепловым нейтроном, может давать тритий по реакции $^{?}_{?}X + {}^{1}_{0}n = {}^{3}_{1}H + {}^{4}_{2}He$.

C. Пиротехника. Нитрат металла **X** применяется для окрашивания пламени в карминово-красный цвет.

1. Установите элемент **X**, состав минерала сподумена и вещество **W**, укажите, какие числа скрываются под вопросительными знаками в ядерной реакции. В ответе на последний вопрос Вам поможет следующая информация: Уравнение ядерной реакций является правильным, если в правой и левой его половинах соблюдается равенство общего массового числа и равенство общего числа зарядов, например, $^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He = {}^{1}_{1}p + {}^{17}_{8}O$. Помимо ядер атомов, в уравнениях ядерных реакций часто фигурируют нейтроны ($^{1}_{0}n$), протоны ($^{1}_{1}p$) и другие элементарные частицы. Верхний левый индекс обозначает массу частицы, а нижний левый – ее заряд.

2. Напишите уравнения реакций **[1-7]**. Напишите уравнение реакции получения металла **X** из его хлорида **[8]**.

3. Какие металлы скрыты в условии задачи под буквами **Y** и **Z**? Будет ли различаться поведение этих металлов в реакциях с азотом, кислородом, водой? Напишите уравнения соответствующих шести реакций **[9-14]**. Если реакция не идет, обязательно укажите на это. В какой цвет окрашивают пламя соли металла **Y**?

D. Органический синтез. Комплексная соль **V**, в которой есть катион металла **X** и комплекс алюминия (в

комплексном анионе $[Al\mathbf{A}_4]^-$, где **A** – однозарядный анион, массовая доля алюминия 87,1 %), является сильным восстановителем и часто используется в органических реакциях. Так, например, соль **V** может восстановить полярные кратные связи до одинарных.

4. Установите состав соли **V**, подтвердите его расчетом. Назовите эту соль.

Также в органическом синтезе часто используются **X**-органические соединения состава R**X** – крайне реакционноспособные соединения. Образуются такие соединения при взаимодействии металла **X** с алкилгалогенидами в безводных растворителях, например, в тетрагидрофуране. Даже в инертных растворителях и при низких температурах не получается долго сохранять растворы этих веществ, поэтому такие растворы используют сразу после получения.

Вещество **U** состава $C_nH_{2n+1}\mathbf{X}$, полученное в результате реакции **X** с алкилбромидом состава $C_nH_{2n+1}Br$ **[15]**, содержит 75 масс. % углерода. При 20 °C за 107 минут в растворе **U** в тетрагидрофуране остается только половина от его исходного количества, остальное разрушается.

5. Установите формулу вещества **U**. Напишите уравнение реакции **[15]**. Оцените, какая доля этого вещества от исходного количества в его растворе в тетрагидрофуране останется через а) 53,5 минуты; б) 214 минут его выдерживания при 20 °C. Уточним: через каждые 107 минут остается половина от того количества, которое было 107 минут назад.

E. Медицина. Малорастворимый карбонат металла **X** является одним из наиболее широко используемых препаратов, помогающих при различных типах аффективных расстройств психики. Утверждается, что терапевтическое действие ионов **X** основано на конкуренции как с ионами металла **Y**, так и металла **Z**.

6. Как может малорастворимый карбонат быть достаточно биодоступным для человека? Какое превращение под действием кислого желудочного сока **[16]** увеличивает его растворимость?

F. Производство напитков. Этот пункт тесно связан с предыдущим (про медицинское применение соединений элемента **X**). Например, в 1929 году в США была начата продажа напитка 7UP, содержащего в составе цитрат металла **X** (его формула $\mathbf{X}_3C_6H_5O_7$), к концу 1940-х годов эта рецептура была изменена. Точный состав напитка неизвестен, но, по некоторым оценкам, содержание этого цитрата в напитке было не менее 100 мг/л.

7. Допустим, что биодоступность цитрата металла **X** сравнима с его карбонатом. Вычислите, сколько бутылок напитка 7UP объёмом 355 мл необходимо было употреблять в день человеку, чтобы добиться терапевтического эффекта, аналогичного употреблению 1200 мг карбоната металла **X** в день?

<u>Задание 3.</u> «Повелитель времени»

«Doctor Who? Doctor Who? Doctor Who?»
«Доктор Кто», телесериал BBC.

«Доктор Кто» – самый продолжительный научно-фантастический сериал в мире. Сериал взял свое начало практически 60 лет назад, в 1963 году, а его новые серии выпускаются и по сей день. Доктор – эксцентричный повелитель времени, который сражается с несправедливостью, путешествуя на своей старой машине времени под названием ТАРДИС, часто в сопровождении спутников.

Сегодняшнее путешествие приведет Доктора в гости ко многим знаменитым ученым – основоположникам химической кинетики и катализа, а его спутником выступите Вы, дорогой участник Всесибирской олимпиады.

Первое совместное путешествие привело Вас в 1850 год в гости к Людвигу Вильгельми, который только что опубликовал свою работу «Закон действия кислот на тростниковый сахар», где показал, что скорость взаимодействия сахарозы (основного компонента тростникового сахара) с водой в кислой среде прямо пропорциональна молярной концентрации сахара и зависит от кислотности среды (концентрации кислоты в растворе).

1. Установите молекулярную формулу сахарозы (M = 342 г/моль). Известно, что сахароза состоит из атомов углерода, водорода и кислорода, причем количество атомов кислорода в 1 молекуле сахарозы в 2 раза меньше, чем количество атомов водорода и на 1 атом меньше, чем количество атомов углерода.

При взаимодействии 1 моль сахарозы с 1 моль воды образуется только 1 моль глюкозы и 1 моль фруктозы **[реакция 1]**.

2. Установите молекулярные формулы глюкозы и фруктозы и вычислите их молярную массу, если известно, что их молекулы различаются своим строением, но имеют одинаковый химический состав. Напишите уравнение реакции **[1]**.

3. Как называются реакции, в которых структура начальных веществ разрушается в результате взаимодействия с водой? А как называются вещества, обладающие одинаковым химическим составом, но разным строением?

В своей работе Людвиг Вильгельми указал на взаимосвязь скорости химической реакции с молярной концентрацией реагента – сахарозы. Вы, как учащийся 9 класса, хорошо знакомы с термином «молярная концентрация», а вот Доктор попросил освежить данное понятие в его голове. Вы решили объяснить Доктору, как вычислить молярную концентрацию вещества в растворе на бытовом примере, и вычислить концентрацию сахарозы в сладком чае.

4. Вычислите молярную концентрацию сахарозы в чашке чая, в которой Вы растворили 2 чайные ложки сахара. Объем чашки примите равным 200 мл, а массу сахарозы в 1 чайной ложке – 5 г.

Из работы Людвига Вильгельми следует, что вычислить среднюю скорость реакции ($v_{средняя}$) гидролиза глюкозы можно по следующей формуле: $v_{средняя} = \Delta C/\Delta t = (C_{начальная} - C_{конечная})/\Delta t$, где $C_{начальная}$ – исходная молярная концентрация глюкозы, $C_{конечная}$ – концентрация глюкозы в момент измерения, Δt – время между началом реакции и моментом измерения концентрации.

5. Исходя из этой формулы, попробуйте сформулировать определение средней скорости химической реакции.

Согласно экспериментам Людвига Вильгельми, скорость взаимодействия сахарозы с водой увеличивается, если в растворе помимо сахарозы содержится кислота. Таким образом, если в чашку горячего чая добавить лимон, то реакция взаимодействия сахарозы с водой ускорится. Данный вопрос был актуален для Людвига Вильгельми не только с теоретической точки зрения, но и имел прикладной характер: в очень сладкий чай (3 чайные ложки на чашку) ученый любил добавлять 2 дольки лимона (масса 1 дольки – 5 г).

6. Вычислите молярную концентрацию сахарозы и лимонной кислоты в чашке любимого чая Людвига Вильгельми, если известно, что содержание лимонной кислоты в 100 г лимона составляет 5,6 г. Рассчитайте время, за которое треть сахарозы в чашке чая Людвига Вильгельми превратится в глюкозу и фруктозу, если известно, что средняя скорость реакции составила $8{,}3*10^{-6}$ моль/(л*с).

7. Какой объем чая успеет выпить ученый до того, как половина сахарозы прореагирует с водой, если его средняя скорость потребления чая составляет 20 мл/мин. При оценке считайте, что Людвиг Вильгельми обладает неограниченным количеством горячего чая с лимоном и сахаром, а максимальный объем его желудка составляет 4,5 литра.

После знакомства со скоростями химических реакций ТАРДИС перенесла Вас с Доктором в 1946 год в немецкий город Нордхаузен, где Вы совместно с советским физиком Сергеем Павловичем Королевым будете изучать первую в мире баллистическую ракету, совершившую полёт в космос. Выдающийся советский физик прибыл в Германию для ознакомления с конструкцией ракеты. Одним из ключевых факторов, определяющим возможность достижения ракетой скоростей для выхода в субкосмическое пространство, являлся состав топлива. Изучая вместе с советским физиком конструкцию ракеты, Вы обнаружили, что функционирование ракетного двигателя обеспечивало взаимодействие **этилового спирта** с простым веществом **X [2]**.

Горючий компонент ракетного топлива представлял собой смесь этилового спирта с водой, содержание спирта в которой составляло 75 масс. %. Общая масса горючей смеси в одной ракете составляла ~ 4 тонны.

8. Установите формулу этилового спирта, если известно, что массовое содержание углерода, кислорода и водорода в нем составляет 52,2 %, 34,8 % и 13 % соответственно. Вычислите общее количество атомов кислорода, углерода и водорода, содержащееся в горючей смеси одной ракеты. Попробуйте вспомнить название этой баллистической ракеты, которая первой в мире совершила суборбитальный космический полет.

В камере сгорания этиловый спирт смешивался с простым веществом **X**, которое в нормальных условиях представляет собой газ без цвета и запаха. В ракету же вещество **X** помещалось в сжиженном виде. Вашего спутника – Доктора – очень впечатлил красивый светло-голубой цвет, которым обладает вещество **X** в жидком состоянии. В немецкую ракету загружалось ~5 тонн простого вещества **X** в жидком состоянии.

9. Установите простое вещество **X**. Напишите уравнение реакции сгорания этилового спирта **[2]**, если известно, что в результате сгорания образуется только 2 продукта. Дополнительно известно, что спирт в реакции окисляется полностью. Вычислите объем, который занимало загружаемое в ракету вещество **X** в жидком состоянии (плотность 1,14 г/см^3 при 90 K), а также объем, занимаемый такой же массой **X** при н.у.

Для подачи горючей смеси и **X** в двигатель использовались два насоса, которые приводились в действие турбиной. Турбину, в свою очередь, приводил в действие водяной пар, генерируемый из вещества **Y** по реакции **[3]**.

Вещество **Y** обладает как окислительными, так и восстановительными свойствами. Так, при взаимодействии с нитритом натрия **[4]**, йодидом калия (в присутствии H_2SO_4) **[5]** и гидроксидом марганца(II) **[6]** вещество **Y** выступает окислителем. Примером проявления восстановительных свойств **Y** служат его реакции со фтором **[7]**, оксидом серебра (I) **[8]** и диоксидом марганца (в присутствии H_2SO_4) **[9]**.

10. Установите вещество **Y**, если известно, что в результате его разложения помимо водяного пара образуется только вещество **X**. Напишите уравнения реакций **[3-9]**.