61-я Всесибирская открытая олимпиада школьников

Заключительный этап 2022-2023 уч. года

Задания по химии

8 класс

ФЕН

НГУ

<u>Задание 1.</u> «Затаившийся, инертный и чужой, но лучистый, солнечный и новый».

О том, что воздух представляет собой смесь газов, ученые стали догадываться во второй половине XVIII века. В 1754 году шотландский ученый Джозеф Блэк экспериментально доказал, что воздух представляет собой смесь газов, а не однородную субстанцию. Вот как описал его эксперименты другой шотландский химик нобелевский лауреат Уильям Рамзай в своей статье «История химии», (1920 г). «В старые годы казалось каким-то чудом, что воздух может быть в большом количестве выделен из камня. Только с открытием Блэка **«фиксируемого»** воздуха было обращено внимание на то, что газ может быть получен из твердого тела... Получив мягкую магнезию осаждением из горькой соли с поташом **[реакция 1]**, Блэк нашел, что она «быстро растворяется с бурным выделением воздуха кислотами купороса **[2]**, селитры **[3]** или обыкновенной соли **[4]**». Если сильно нагреть мягкую магнезию **[5]**, то она превращается в белый порошок, растворяющийся в кислотах без выделения пузырьков. Кроме того, она при накаливании теряет около 25/48 своего веса. Чтобы снова получить улетучивающуюся часть, Блэк растворяет остаток в купоросной кислоте **[6]** *(при этом получается раствор горькой соли)* и снова осаждает его поташом. Полученный белый порошок «снова получает все свойства, которые он потерял при накаливании. Кроме того, он увеличился в весе на столько же, сколько он потерял при накаливании; а так как он растворяется в кислотах с выделением пузырьков, то часть его веса, без сомнения, должна быть приписана **«фиксируемому»** воздуху». Блэк сделал здесь огромный шаг вперед: он взвесил газ в связанном состоянии...».

В 1772 г. британский химик и физик Генри Кавендиш многократно пропустил воздух над раскаленным углем **[7]** (при этом часть воздуха превращается в **«фиксируемый»**), а полученную газовую смесь пропустил через раствор калиевой щелочи **[8]** (образуется поташ), получив остаток, который он назвал «удушливым» или **«испорченным»** воздухом. В том же году шведский химик Карл Шееле повторил эти эксперименты, а через 5 лет написал: «Я склонен думать, что атмосферный воздух состоит главным образом из двух видов воздуха – **«огненного»**, поддерживающего дыхание и горение, и **«испорченного (безжизненного)»**, не поддерживающего горение. Французский ученый Антуан Лоран Лавуазье, которого не без оснований считают основателем современной химии, в 1772-75 годах произвел анализ и синтез воздуха, также сделав вывод о том, что весь воздух в основном состоит из **«огненного»**, и **«безжизненного»**, в пропорциях 1/5 и 4/5 объема соответственно. Он показал, что вес металлов (в частности, олова **[9]** и железа **[10]**) при их нагревании в закрытых сосудах увеличивается за счет присоединения части воздуха. Он также показал увеличение массы при сгорании серы **[11]** и фосфора **[12]**.

1. Напишите формулы и современные названия **«фиксируемого»**, **«безжизненного»** и **«огненного»** воздуха. Приведите их содержание в атмосферном воздухе в объемных процентах. Какие коэффициенты следует использовать для каждого из этих газов, чтобы пересчитать объемные проценты: а) в массовые; б) в мольные?

2. Напишите формулы и современные названия мягкой магнезии (56,9), горькой соли (53,2), поташа (34,7), кислот купороса (65,3), селитры (76,2) и обыкновенной соли (0). В скобках приведена массовая доля кислорода в составе этих соединений. Если не получается, внимательно перечитайте условие задачи.

3. Напишите уравнения реакций **[1] – [12]**. Массовая доля металлов в продуктах реакций **[9]** и **[10]** составляет 78,8 и 72,4 % соответственно.

4. Как в настоящее время получают **«безжизненный»** и **«огненный»** воздух в промышленности? Предложите также по 2 лабораторных способа получения этих газов.

В работе 1785 г Кавендиш описал эксперименты, в которых ему удалось установить, что около 1 % атмосферного воздуха составляют другие газы. Он зафиксировал **«безжизненный»** воздух, пропуская через его смесь с **«огненным»** воздухом электрические разряды. Образующийся в результате реакции **[13]** бесцветный газ быстро превращался в бурый газ **[14]**, для удаления которого использовался раствор гидроксида калия **[15]** (в этой реакции образуются две соли, одна из которых называется селитрой). Газовый остаток после этих экспериментов обладал необыкновенной химической стойкостью.

Спустя приблизительно сто лет британский ученый лорд Рэлей обнаружил, что **«безжизненный»** воздух, получаемый из воздуха, имеет несколько большую плотность, чем простое вещество, получаемое химическим путем, о чем он сообщил в журнале «Nature» в 1892 г. Откликнувшись на эту публикацию, Уильям Рамзай предположил, что **«безжизненный»** воздух содержит примесь более тяжелого газа и провел новые эксперименты. Полученный из 10 л атмосферного воздуха **«безжизненный»** воздух, он многократно

пропустил над раскаленным магнием **[16]**, получив в остатке немногим менее 100 мл нового газа. Оказалось, что этот газ тяжелее чистого **«безжизненного»** воздуха почти в полтора раза, а его молекула состоит из одного атома. Из одноатомности молекулы следовал вывод о том, что выделено новое простое вещество. Много времени затратили Рамзай и Рэлей на изучение его реакционной способности, но в итоге пришли к выводу, что их газ совершенно недеятелен. В то время не было известно ни одного настолько нереакционноспособного вещества. 7 августа 1894 г. на собрании Британской ассоциации физиков, химиков и естествоиспытателей, было сделано сообщение об открытии нового элемента. В своём докладе Рэлей утверждал, что в каждом кубическом метре воздуха присутствует около 15,28 г открытого газа (1,288 % по массе). Позднее выяснилось, что Рамзай и Рэлей держали в своих руках не одного незнакомца, а нескольких – целое новое семейство элементов. Собственно, Рамзай и предсказал их существование. Опыты с урановым минералом клевеитом в 1895 г. привели его к обнаружению на Земле элемента, который к тому времени был обнаружен только на Солнце. А уже через три года, в 1898 г Рамзай объявил об открытии еще трех новых элементов.

В 1904 г. Рэлей за исследования плотностей наиболее распространённых газов и открытие нового элемента получил Нобелевскую премию по физике, а Рамзай за открытие в атмосфере нескольких новых газов и определения их места в Периодической системе – Нобелевскую премию по химии.

5. Напишите уравнения реакций **[13] – [16]**. Какой основной способ фиксации **«безжизненного»** воздуха в настоящее время используется в промышленности (уравнение реакции с условиями проведения).

6. Об открытии какого элемента Рамзай и Рэлей сообщили в 1894 г.? Исходя из данных Рэлея, вычислите: а) объемную долю этого газа в составе воздуха; б) количество атомов этого элемента в 1 $м^3$ воздуха.

7. Какой элемент Рамзай обнаружил на Земле в 1895 г., а какие – в 1898 г.? В какую группу (номер) Рамзай предложил поместить открытые им элементы? Какое общее название имеют элементы этой группы? Соотнесите русские названия каждого из этих элементов с эпитетами, приведенными в названии этой задачи.

Помимо всех упомянутых в задаче газов при анализе обычного воздуха можно обнаружить заметное количество еще одного компонента, содержание которого очень сильно зависит от погоды, температуры и географического положения местности, в которой был взят образец этого воздуха. В частности, при 25 ^{o}C его объемная доля в составе воздуха может достигать 3,1 %.

8. Укажите название этого вещества. Какой воздух будет тяжелее (иметь более высокую плотность), тот, в котором много этого вещества, или тот, в котором этого вещества мало? Обоснуйте свой ответ.

<u>Задание 2.</u> «Химия и цивилизация»

«*Страна, опередившая мир в развитии химии, также будет на первом месте в богатстве и в общем процветании*».
Уильям Рамзай, лауреат Нобелевской премии по химии 1904 г.

Химия сопровождает человечество в течение всего его развития. В процессе приготовления еды древние люди, сами того не зная, задействовали множество химических реакций. Даже для того, чтобы сварить обычную похлёбку, приходилось иметь дело с реакцией горения для разведения костра, не говоря о десятках сложных процессов, которые протекают при термической обработке овощей и мяса. На этом этапе исторического развития человек освоил некоторые нужные ему закономерности, не вникая в суть происходящих процессов. Однако с объединением общин в деревни, деревень – в протогорода и их дальнейшей эволюцией в города, положившие основу первым цивилизациям, человечество начало искать возможность добывать ресурсы. В тех местах, где была медь, люди использовали бронзу; древние средиземноморские цивилизации стали повсеместно использовать бронзовые изделия, что дало название длительной исторической эпохе – Бронзовому веку.

Считается, что Бронзовому веку средиземноморских народов положил конец т.н. «бронзовый коллапс» – извержение вулкана Санторин в Эгейском море, что прервало торговое сообщение с народами, продававшими один из основных компонентов бронзы средиземноморским народам.

1. Какой металл, необходимый для производства бронзы, оказался в дефиците?

На смену бронзе искали новые сплавы, и постепенно для металлических изделий начали применять металл **X** и его сплавы. И поныне **X** используется в виде сплавов для изготовления металлоконструкций и разнообразных предметов. В природе **X** встречается не в чистом виде, а в составе различных минералов, например гематита и магнетита (содержат в своём составе оксиды **A** и **B** соответственно; массовые доли **X** в них составляют 70,00% и 72,41%).

Древние люди восстанавливали металл **X** из руд в сыродутной печи; суть процесса заключалась в смешивании руды с древесным углём, последующем поджигании смеси и продувании влажным воздухом [**реакции 1–6**]. В результате получали сплавы **X** с большим содержанием углерода и содержащие большое количество примесей. Со временем люди научились избавляться от примесей и регулировать содержание углерода в сплаве. Например, для избавления от кварца, который содержится практически во всех рудах, в реакционную смесь добавляли флюс в виде известняка **[7]**. Продуктом реакций [**1] – [4]** является сам **X**, а в

реакциях **[5]** и **[6]** реагентами выступают простые вещества. Продукт реакции **[5]** принимает участие в реакциях **[3]** и **[4]**.

2. Определите металл **X**, напишите формулы оксидов **A** и **B** и уравнения реакций **[1]** – [**7**]. Примите, что в руде содержится 64,08 масс. % **X**, а единственной примесью является кварц (содержание 9,00 масс. %). На основании этого найдите массовые доли **A** и **B** в составе данной руды.

3. Какие названия носят сплавы **X** с низким и высоким содержанием углерода? Предположите, где может находиться ближайший от Вас природный источник металла **X** в виде простого вещества.

Итак, человечество получило в своё распоряжение ценный металл **X**. Но на одном металле долго не проживешь: **X**'ом печку не растопишь и каши на нём не сваришь. Важным фактором для развития народов является эффективное топливо. Долгое время в качестве топлива человек использовал древесину. С началом Промышленной революции в XVIII веке начала бурно развиваться и металлургия. Требуемые количества топлива не могла покрыть одна лишь древесина – люди начали активно использовать каменный уголь.

Наиболее высоко ценимым сортом каменного угля является антрацит (в его состав входит в основном 4 элемента). С образцом антрацита массой 15,00 г провели следующий эксперимент. Сначала его измельчили и поместили в трубку, нагрели до 110 °C и продували током азота. После этого полученный порошок остудили, достали из трубки и взвесили; его масса составила 14,46 г. Затем его положили в камеру и сожгли в избытке кислорода. В результате сгорания образовалась газовая смесь, а также негорючая зола (силикаты и оксиды) массой 0,9601 г. Газовую смесь последовательно пропустили через башню с активной медью при нагревании **[8]**, трубку с оксидом фосфора(V) (масса увеличилась на 2,954 г, **[9]**) и известковую воду (выпало 106,3 г осадка, **[10]**). После проделанных процедур осталось 57,84 мл азота (н. у.).

4. Назовите 4 основных элемента, входящих в состав антрацита. Напишите уравнения реакций **[8] - [10]**. Какие оксиды азота могут реагировать с известковой водой? Напишите уравнения реакций. Какие из оксидов азота не могут образоваться в результате сгорания антрацита?

5. Найдите влажность исходного антрацита (в масс. %). Рассчитайте элементный состав сухого антрацита (в масс. %). Рассчитайте удельную теплоту сгорания исходного антрацита (в МДж/кг). Вам потребуются теплоты образования $Q_f(CO_{2(г)})$ = 393,5 кДж/моль, $Q_f(H_2O_{(ж)})$ = 285,8 кДж/моль и теплота испарения воды 44,00 кДж/моль; для оценки примите Q_f(антрацита$_{(тв)}$) = 0 кДж/моль, для расчетов примите, что в результате сгорания образуются только два сложных вещества.

С развитием машиностроения возникла потребность в новых, более удобных видах топлива. В этом качестве начали применять продукты фракционной перегонки нефти. Нефть представляет собой смесь различных веществ, в первую очередь, различных углеводородов. Также в составе нефти всегда содержится некоторое количество серосодержащих соединений. После перегонки из нефтепродуктов удаляют серосодержащие соединения (проводят т.н. *обессеривание*).

Для определения общего количества серы в образце западносибирской нефти *Siberian Light* плотностью 0,836 г/мл использовали ламповый метод. Образец данной нефти объёмом 40,00 мл внесли в мерную колбу на 100,0 мл и довели до метки при помощи *н*-гептана (для разбавления). Аликвоту объёмом 25,00 мл из мерной колбы внесли в специальную лампу для сжигания в смеси, состоящей из 70% углекислого газа и 30% кислорода. Поток продуктов после сжигания направляют в раствор перекиси водорода для поглощения сернистого газа **[11]**. К образовавшемуся в ходе реакции раствору серной кислоты добавляют избыток раствора хлорида бария **[12]**, образовавшийся осадок собирают на беззольном фильтре, который далее сжигают в муфельной печи. Масса сухого остатка после сжигания в печи оказалась равной 0,2554 г.

6. Напишите уравнения реакций **[11]** и **[12]**. По результатам гравиметрического анализа рассчитайте массовое содержание серы (%) в данном образце нефти *Siberian Light*.

Также, с развитием гражданской и военной авиации возникла потребность в легких и прочных конструкционных материалах. Подавляющее большинство таких материалов находит в своем составе металл **M**, впервые полученный в 1825 г. датским физиком Гансом Эрстедом. Для этого он пропускал хлор через раскалённую смесь глинозёма с углём **[13]**, а полученную соль **C** нагревал с амальгамой калия **[14]**. При действии избытка водного раствора аммиака на раствор на раствор 3,23 г **C** в воде выпадает студенистый осадок **[15]**, при прокаливании которого **[16]** образуется белый оксид (основной компонент глинозёма с массовой долей **M** 52,94%) массой 1,234 г.

7. Определите металл **M**. Напишите уравнения реакций **[13] - [16]** и формулу соли **C**. Что такое амальгама?

Часто применяемым в авиационной отрасли является *сплав 2024* на основе элемента **M** с добавками марганца, магния и меди. Навеска порошка данного сплава массой 10,00 г без остатка растворяется в избытке концентрированной азотной кислоты при нагревании **[17] - [20]**. Далее к полученному раствору с осторожностью добавили избыток раствора гидроксида натрия, в результате чего образовались окрашенный осадок **[21] - [23]** и бесцветный раствор **[24]**, **[25]**. Через бесцветный раствор долго пропускали углекислый газ, при этом из раствора выпал студенистый осадок **[26]**, **[27]**, при прокаливании которого образуется белый оксид **[16]** массой 17,89 г.

8. Напишите уравнения реакций **[17] - [27]**. Определите массовое содержание элемента **M**, входящего в состав данного сплава. Реакции **[24]** и [**27]** являются реакциями нейтрализации.

10. В XX веке человечество получило в своё распоряжение новое, экологически чистое, но достаточно опасное топливо. Какой элемент является основой данного топлива?

Задание 3. «Лактоза».

Первым продуктом питания в жизни ребенка является молоко. В молоке содержатся белки, жиры и углеводы, которые позволяют организму человека полноценно развиваться без существенной нагрузки на пищеварительную систему. Одним из ключевых питательных веществ в молоке является углевод лактоза, содержание которого в молоке млекопитающих может достигать до 8 масс. %.

1. Установите брутто-формулу лактозы, если известно, что теплота сгорания 1 моля лактозы составляет 1345 ккал, а 1 г – 16,5 кДж. Дополнительно известно, что суммарное количество атомов в 1 моле лактозы составляет $2{,}71*10^{25}$. Ответ подтвердите расчетом.

Справочная информация: *1 калория = 4,2 Дж, общая формула углеводов –* $C_x(H_2O)_y$

2. Напишите уравнение реакции сгорания лактозы **[1]**.

3. Рассчитайте объемы продуктов реакции **[1]** (в литрах при 25 ^{0}C) и количество теплоты (в кДж), которые выделятся в результате сгорания всей лактозы, содержащейся в 1 литре молока. Плотность молока примите равной 1,03 г/мл, а содержание лактозы в молоке – 4 масс. %.

Справочная информация: *молярный объем газов при 25* ^{0}*C составляет 24,4 л.*

Под энергетической ценностью (калорийностью) принято понимать количество теплоты, которое выделяется при сгорании питательных веществ – белков, жиров и углеводов, содержащихся в продукте питания. Как правило, энергетическую ценность устанавливают путем сжигания продукта в калориметре и приводят выделившееся количество энергии в килокалориях на 100 г продукта.

4. Вычислите, какая доля (в %) от энергетической ценности молока приходится на лактозу, если калорийность молока составляет 54 ккал/100 г.

Несмотря на важную функцию молока в первые месяцы жизни человека, в последующем у многих людей могут возникать проблемы пищеварительного тракта, ассоциированные с непереносимостью лактозы. Непереносимость лактозы связана с недостаточной выработкой в организме фермента, который участвует в процессе разложения лактозы. Для описания скорости разложения лактозы можно воспользоваться простейшей схемой ферментативной реакции, которая впервые была опубликована в 1913 г. В соответствии с опубликованной схемой, рассчитать начальную скорость разложения лактозы с участием фермента можно по следующему уравнению: $V = k_2[Ф]_0[Л]_0/([Л]_0 + K_M)$, где $[Ф]_0$ – начальная концентрация фермента, $[Л]_0$ – начальная концентрация лактозы, k_2 и K_M – константы.

5. Воспользовавшись уравнением, вычислите начальную скорость гидролиза лактозы в организме человека с непереносимостью лактозы, который выпил 200 мл молока. При вычислениях плотность молока примите равной 1,03 г/мл, содержание лактозы в молоке – 2 масс. %, $[Ф]_0 = 4*10^{-9}$ моль/л, $k_2 = 1{,}0097$ c^{-1}, $K_M = 0{,}0024$ моль/л. Объем реакционной среды примите равным объему употребленного молока.

Один из способов улучшения качества жизни человека с непереносимостью лактозы – употребление дополнительного количества фермента одновременно с молочными продуктами. В Российской Федерации можно приобрести БАД «Лактазар», одна капсула которого содержит 0,0585 г фермента. По заявлениям производителя, употребление одной капсулы «Лактазара» позволяет достичь нормального уровня фермента в пищеварительной системе человека.

6. Вычислите начальную скорость гидролиза лактозы в организме того же человека с непереносимостью лактозы, употребившего 1 капсулу «Лактазара» одновременно с тем же стаканом молока объемом 200 мл. При вычислениях примите М(Ф) = 320 кг/моль.

7. Как расшифровывается аббревиатура БАД?

В составе фермента, катализирующего гидролиз лактозы, присутствуют атомы металлов **A** и **B**. Примечательно, что атомные массы единственного стабильного изотопа металла **A** и самого распространенного изотопа металла **B** отличаются на единицу, также как и их степени окисления в составе образуемых ими соединений отличаются на единицу.

8. Установите металлы **A** и **B**, если известно, что массовая доля **B** в составе оксида составляет 60 %.

9. Напишите уравнения реакции взаимодействия металлов **A** и **B** с кислородом **[2]**, **[3]**, хлором **[4]**, **[5]**, раствором соляной кислоты **[6]**, **[7]** и раствором натриевой щелочи при нагревании **[8]**, **[9]**. Укажите цвета окрашивания пламени, наблюдаемые в реакциях **[2]** и **[3]**.