

**Задание 1. «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 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, горькой соли, поташа, кислот купороса, селитры и обыкновенной соли. 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 в промышленности получают «безжизненный» и «огненный» воздух? 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 недейтелен. В то время не было известно ни одного настолько неактивного 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). Как называется этот процесс?

6. Об открытии какого элемента Рамзай и Рэлей сообщили в 1894 г.? Исходя из данных Рэля, вычислите: а) объёмную долю этого газа в составе воздуха; б) количество атомов этого элемента в 1 м³ воздуха; в) температуру, при которой Рэлей измерял объём 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.

Наиболее реакционно-способным из газов этого семейства является простое вещество, образованное элементом **X**, природным источником которого служит ядерный распад ²³⁸U. Его наиболее устойчивый изотоп имеет период полураспада 3,8 суток и образуется после следующей последовательности превращений ядра урана: один альфа-распад [17], два бета-распада [18], [19], три альфа-распада [20], [21], [22]. Известно, что в ходе альфа-распада из ядра нестабильного изотопа вылетает ядро ⁴He, а в ходе бета-распада один из нейтронов в ядре превращается в протон и выбрасывает электрон.

8. Укажите название элемента **X** и состав ядра его наиболее устойчивого изотопа. Напишите уравнения ядерных реакций [17] – [22].

9. Вычислите, какие массы гелия и газа **X** образуются при распаде 1 кг ²³⁸U. Какая масса **X** останется после хранения образца исходной массой 12,0 г в течение 11,4 суток?

Поскольку исследование химических свойств газа **X** затруднено из-за его высокой радиоактивности, на сегодняшний день более всего соединений получено для элемента **Y**. Одним из первых таких соединений был фторид (массовая доля ω(F) = 22,45%), являющийся чрезвычайно сильным окислителем. Он легко окисляет не только сероводород [23] (до фторида серы (VI)), но и соляную кислоту [24], и даже воду [25].

10. Укажите название элемента **Y**, вычислите формулу упомянутого фторида, и напишите уравнения реакций [23] - [25].

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 °С его объёмная доля в составе воздуха может достигать 3,1 %.

11. 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.

Задание 2. «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 сvariшь. 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 ценным 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 °С 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, трубку с оксидом фосфора(V) (масса увеличилась на 2,954 г, [8]) и известковую воду (выпало 106,3 г осадка, [9]). После проделанных процедур осталось 57,84 мл азота (н. у.).

4. Назовите 4 основных элемента, входящих в состав антрацита. В каких формах эти элементы содержатся в антраците? Напишите уравнения реакций [8], [9]. Для чего смесь вводят в реакции с активной медью?

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 $Q_f(\text{CO}_{2(\text{г})}) = 393,5$ кДж/моль, $Q_f(\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}) = 285,8$ кДж/моль и теплота испарения воды 44,00 кДж/моль; для оценки примите $Q_f(\text{антрацита}_{(\text{тв})}) = 0$ 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*).

6. Приведите причины, из-за которых требуется проводить обессеривание нефти и продуктов её перегонки.

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 *n*-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 [10]. К образовавшемуся в ходе реакции раствору добавляют избыток раствора хлорида бария [11], образовавшийся осадок, нерастворимый в кислотах и щелочах, собирают на беззольном фильтре, который далее сжигают в муфельной печи. Масса сухого остатка после сжигания в печи оказалась равной 0,2554 г.

7. Напишите уравнения реакций [10] и [11]. 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 **М**, впервые полученный в 1825 г. датским физиком Гансом Эрстедом. Для этого он пропускал хлор через раскаленную смесь глинозёма с углём [12], а полученную соль **С** нагревал с амальгамой калия [13]. При действии избытка нашатырного спирта на раствор 3,23 г **С** в воде выпадает студенистый осадок [14], при прокаливании которого [15] образуется белый оксид (основной компонент глинозёма с массовой долей **М** 52,94%) массой 1,234 г.

8. Определите металл **М**. Напишите уравнения реакций [12] - [15] и формулу соли **С**. Что такое амальгама?

Часто применяемым в авиационной отрасли является сплав 2024, состоящий из четырех металлов. Навеска порошка данного сплава массой 10,00 г без остатка растворяется в избытке концентрированной азотной кислоты при нагревании [16] - [19]. Далее к полученному раствору с осторожностью добавили избыток раствора гидроксида натрия, в результате чего образовались окрашенный осадок [20] - [22] и бесцветный раствор [23], [24]. Через бесцветный раствор долго пропускали углекислый газ, при этом из раствора выпал студенистый осадок [25], [26], при прокаливании которого образуется белый оксид [15] массой 17,89 г. Полученный ранее отфильтрованный окрашенный осадок растворили в азотной кислоте, а затем пропустили через образовавшийся голубой раствор избыток сероводорода [27], в результате образовались бесцветный раствор и черный осадок массой 0,5715 г. Полученный бесцветный раствор избавили от сероводорода кипячением, после чего добавили к нему избыток $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ и длительно нагревали [28]. К образовавшемуся в результате окисления фиолетовому раствору добавили избыток едкого натра [22], [23], [29], в результате выпал белый осадок, который после прокаливании образует белый оксид (массовое содержание кислорода равно 40,00%) массой 0,2000 г.

9. Напишите символы элементов, из которых состоит сплав 2024. Два металла, входящих в состав сплава, имеют похожие названия. Напишите уравнения реакций [16] - [29]. Определите массовое содержание всех элементов (%) входящих в состав данного сплава. Реакции [23], [26], [29] 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 $1 \text{ г} - 16,5 \text{ кДж}$. Дополнительно известно, что суммарное количество атомов в 1 моле лактозы составляет $2,71 \cdot 10^{25}$. Ответ подтвердите расчетом.

Справочная информация: 1 калория = 4,2 Дж, общая формула углеводов – $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$

2. Напишите уравнение реакции сгорания лактозы [1].

3. Вычислите количество теплоты (в кДж), которое выделится при сгорании всей лактозы, содержащейся в 1 литре молока. Плотность молока примите равной 1,03 г/мл, а содержание лактозы в молоке – 4 масс. %.

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, осуществляемую молоком 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 в процессе гидролиза лактозы выступает катализатором.

5. Напишите определения терминов «гидролиз» и «катализатор».

Непосредственно сама лактоза не способна всасываться в кровь ввиду непроницаемости кишечной стенки для такого типа молекул. В результате гидролиза лактоза расщепляется на две молекулы с одинаковым химическим составом, но разной структурой.

6. Напишите уравнение реакции гидролиза лактозы, представив вещества в виде брутто-формул, если известно, что лактоза и вода вступают в реакцию в соотношении 1:1 [2].

Гидролиз лактозы является многоступенчатым процессом, в котором помимо воды и лактозы участвует фермент. Для описания скорости гидролиза лактозы можно воспользоваться простейшей схемой ферментативной реакции, которая впервые была опубликована в 1913 г. Согласно данной схеме, для вычисления начальной скорости реакции с участием фермента используется следующее уравнение:

$$V = k_2[\Phi]_0[L]_0/([L]_0 + K_M),$$

где $[\Phi]_0$ – начальная концентрация фермента, $[L]_0$ – начальная концентрация лактозы, k_2 и K_M – константы.

7. 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. %, $[\Phi]_0 = 4 \cdot 10^{-9}$ моль/л, $k_2 = 1,0097 \text{ с}^{-1}$, $K_M = 0,0024$ моль/л. Объем реакционной среды примите равным объему употребленного молока.

Один из способов улучшения качества жизни человека с непереносимостью лактозы – употребление фермента, катализирующего гидролиз лактозы, 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.

8. 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 $M(\Phi) = 320$ кг/моль.

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.

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

Основным способом получения металлов **A** и **B** является электролиз расплавов их хлоридов [3], [4].

10. Что такое электролиз? Напишите уравнения реакций, протекающих при электролизе расплавов хлоридов металлов **A** и **B** [3], [4].

11. Напишите уравнения реакции взаимодействия металлов **A** и **B** с кислородом [5], [6], раствором соляной кислоты [7], [8] и раствором натриевой щелочи при нагревании [9], [10]. Укажите цвета окрашивания пламени, наблюдаемые в реакциях [5] и [6].