

**Задание 1. «N* протонов».**

«Человеческий разум в силу своей склонности легко предполагает в вещах больше порядка, чем находит. И в то время как многое в природе единично и совершенно не имеет себе подобия, он придумал параллели, соответствия и отношения, которых нет».

Фрэнсис Бэкон (1561 – 1626), основоположник английского материализма.



Четыре бинарных (двухэлементных) вещества **A**, **B**, **C** и **D** содержат одинаковое суммарное количество протонов (N штук) на одну свою формульную единицу. Формульной единицей химиками называют группу атомов или ионов, состав которой соответствует химической формуле данного вещества.

1. Вычислите количество протонов, приходящихся на одну формульную единицу, в следующих веществах: белый фосфор, азид свинца, гидразин, дисульфид натрия, озонид калия, гидрокарбонат аммония.

Про вещества **A**, **B**, **C** и **D** известно, что **A** – соединение элемента в степени окисления $+1$, **B** и **C** – $+2$, **D** – $+3$ (каждому соединению соответствует свой элемент в положительной степени окисления).

Вещество **A** нерастворимо в воде, его легко можно получить реакцией ионного обмена. При смешивании 40 мл раствора *соли 1* с концентрацией 0,1 моль/л и 10 мл раствора *соли 2* с концентрацией 0,4 моль/л образуется 0,94 г желтого осадка вещества **A**, а в растворе остаётся лишь нитрат натрия [реакция 1]. Вещество **A** растворяется в водном растворе тиосульфата натрия [3]. Про *соль 1* известно, что ее разложение приводит к выделению смеси кислорода и бурого газа [3].

2. Установите формулы вещества **A** и *солей 1* и *2*. Напишите уравнения реакций [1]–[3].

Исходя из вещества **B**, можно получить интересное с точки зрения школьной химии вещество **E**, которое представляет собой прозрачную, желтую маслянистую жидкость. По методике, в поллитровую колбу помещают 17,6 г вещества **B** и заливают 300 мл концентрированной соляной кислоты, что приводит к частичному растворению **B** за счет комплексообразования [4]. После этого через смесь пропускают довольно сильный поток жёлто-зелёного газа **Z**, в результате чего через некоторое время осадок полностью растворяется [5]. Затем содержимое колбы охлаждают до 0°C и по каплям добавляют к нему при перемешивании ледяной раствор 7,55 г хлорида аммония в концентрированной соляной кислоте. При этом выпадает золотисто-желтый осадок вещества **F** [6], в котором массовая доля $\omega(\text{Cl}) = 46,71\%$, атомная доля $\chi(\text{Cl}) = 35,29\%$.

Для получения **E** 14,62 г вещества **F** вносят порциями при помешивании в 200 мл концентрированной серной кислоты, охлажденной до 0°C . Через несколько минут **E** выделяется в виде жёлтого масла [7]. В результате можно получить до 10,47 г вещества **E** (выход 94 %).

3. Установите формулы веществ **B**, **E**, **F** и **Z**. Напишите уравнения реакций [4] – [7]. Почему в ходе синтеза вещества **E** реакционную смесь необходимо охлаждать? Ответ аргументируйте уравнением реакции [8].

4. Напишите уравнения реакций вещества **E** с водой [9] и избытком калиевой щелочи [10].

В отличие от веществ **A** и **B**, белый порошок вещества **C** хорошо растворим в воде. Помимо этого, он хорошо растворяется в концентрированном водном растворе аммиака, образуя раствор соединения **G** [11] ($\omega(\text{NH}_3) = 23,21\%$). Если растворить **G** в концентрированном растворе HBr , образуется раствор комплексной соли **H** [12] ($\omega(\text{Br}) = 76,01\%$). Известно, что один из элементов, входящих в состав **C**, образует жидкое при стандартных условиях простое вещество.

5. Установите формулы веществ **C**, **G** и **H**. Назовите вещества **G** и **H**, напишите уравнения реакций [11] и [12].

Белый порошок вещества **D** тоже хорошо растворим в воде. При взаимодействии его водного раствора с газообразным аммиаком [13], из раствора выпадает белый осадок вещества **I**. Нагревание **I** до 340°C приводит к отщеплению воды и образованию бинарного вещества **J** [14], массовая доля кислорода в котором составляет 17,27 %. Водный раствор **D** взаимодействует и с раствором *соли 1*, образуя белый осадок [15].

6. Установите формулы веществ **D**, **I** и **J**. Напишите уравнения реакций [13] – [15].

7. Как Вы уже могли заметить, в составе каждого из четырех веществ **A** – **D** присутствуют разные элементы одного и того же семейства Периодической системы (ПС). Напишите формулы ещё двух бинарных веществ, содержащих элементы из этого семейства и насчитывающие ровно столько же (N) протонов на одну формульную единицу.

Задание 2. «Кислые коксовые газы».

Производство чёрных металлов на металлургических заводах требует большого количества углерода, одновременно решающего несколько важнейших задач, главными из которых являются его использование в качестве топлива и восстановителя. Ископаемые угли не могут применяться в современных металлургических печах напрямую по причине их невысокой термической стойкости. Для увеличения прочности угли подвергают коксованию – нагреву до температуры 1300 – 1350 °С без доступа воздуха. Продуктами процесса коксования являются кокс (спечённый упрочнённый уголь) и первичный коксовый газ. По завершению процесса коксования кокс выгружают из печи, охлаждают и отправляют потребителям – другим переделам металлургического комбината, в первую очередь в доменный цех и на агломерационную фабрику.

Первичный коксовый газ поступает в цех улавливания. При обработке первичного коксового газа в аппаратуре цеха улавливания из него выделяются полезные органические соединения – химические продукты процесса коксования, улавливаются вредные неорганические газы и образуется очищенный коксовый газ. Очищенный газ называется обратным, потому что часть его подается на обогрев коксовых печей, как бы возвращается обратно.

Улавливание вредных неорганических газов производится в абсорберах – аппаратах, где осуществляется взаимодействие очищенного от органических примесей коксового газа с раствором аммиака. Этот раствор, называемый аммиачной водой, обратимо поглощает вредные газы (в основном, за счет взаимодействия с аммиаком, однако, один из газов с аммиаком не взаимодействует, а просто хорошо растворяется в воде, частично взаимодействуя с самой водой).

Для регенерации аммиачной воды ее направляют из абсорбера в десорбер, где ее нагревают. Это приводит к обратному выделению всех растворившихся в ней газов, называемых «кислыми». Отметим, что такое название не совсем корректно, так как один из компонентов этой газовой смеси в водном растворе проявляет не кислые, а основные свойства. Из десорбера «кислые» газы направляют в специальную печь, где их перерабатывают на полезный продукт и безвредные отходящие газы, которые выпускают в атмосферу. Единственным дополнительным веществом, подающимся в печь, является воздух, а полезным продуктом – простое горючее вещество желтого цвета, используемое для получения резины из каучука.

В заводской лаборатории определили, что в состав одной из проб осушенных «кислых» коксовых газов входят 3 бинарных (двухэлементных) газа **А**, **Б**, **В**, которые суммарно образованы 5-ю элементами. После проведения качественного анализа в лаборатории провели ряд опытов, позволивших установить содержание каждого из этих газов (все измерения проведены при $p = 1$ атм).

I. «Кислые» коксовые газы пропустили через избыток концентрированного раствора натриевой щелочи, а не поглотившийся газ медленно пропустили через голубой раствор сульфата меди. Из раствора выпал светло-голубой осадок, который затем растворился с образованием темно-синего раствора.

II. При поглощении 28,95 л «кислых» коксовых газов избытком раствора сульфата меди, подкисленного серной кислотой, выпал осадок чёрного цвета массой 14,325 г (объем газа измерен при 80 °С).

III. При сжигании 55,2 л «кислых» коксовых газов в избытке кислорода объемом 27,6 л получили 80,04 л смеси газов **Б**, **Г**, **Д**, **Е**, **Ж** (все объемы измерены при 400 °С).

IV. Горячую смесь газов, полученную после сжигания в опыте III, пропустили через трубку с оксидом кальция в результате чего поглотились газы **Б**, **Д** и **Е**. После этой операции объем новой смеси газов, измеренный при н. у., составил 5,6 л, а ее средняя молярная масса 31,2 г/моль.

1. Проанализировав приведенную в задаче информацию, установите вещества **А** – **Ж** (напишите их формулы и названия). Дополнительно известно, что продуктами сгорания газа **А** являются вещества **Г** и **Д**.
2. Напишите уравнения реакций, протекающих в ходе адсорбции газов **А** – **В** аммиачной водой и их последующей десорбции, а также реакций, прошедших в ходе исследований этих газов в заводской лаборатории (опыты I-IV).
3. Вычислите количественный состав (мольные доли компонентов) исходной пробы «кислых» коксовых газов, исследованной в лаборатории.
4. Рассчитайте мольные доли газов **Б**, **Г**, **Д**, **Е**, **Ж** в газовой смеси, полученной после сжигания исходной пробы «кислых» коксовых газов в опыте IV.
5. Специальная печь для переработки «кислых» газов состоит из двух зон. В первой, «горячей» зоне газы смешивают с недостатком воздуха, в результате чего образуется смесь газов **Б**, **В**, **Г**, **Д**, **Е**. Эту смесь направляют в «холодную» зону, где она просто охлаждается. В процессе охлаждения два вредных газа реагируют с образованием того самого полезного продукта. Напишите уравнение этой реакции и вычислите соотношение объемов, в котором следует смешивать воздух и «кислые» коксовые газы в «горячей» зоне.

Задание 3. «Калле Блумквист - суперсыщик».

«Взрослым никогда не бывает весело. У них вечно уйма скучной работы, дурацкие платья и подуходные налоги. И ещё они напичканы предрассудками и всякой ерундой. Они думают, что стряётся ужасное несчастье, если сунуть в рот нож во время еды, и всё такое прочее».

Один из наиболее известных литературных персонажей Астрид Линдгрэн

«Приключения Калле Блумквиста» – серия книг знаменитой шведской писательницы Астрид Линдгрэн, повествующая об отважном и умном 13-летнем мальчике, который мечтает стать известным сыщиком и печалится тем, что живет в тихом маленьком шведском городке, ведя обычную для ребят его возраста жизнь. Неожиданно Калле и его друзья становятся свидетелями ряда загадочных событий, связанных с дерзким ограблением, о котором пишут в газетах. Благодаря смелости и находчивости ребят, полиции удалось задержать преступника.



В одном из эпизодов юный сыщик показал себя эрудированным юным химиком, сумев доказать, что плитка шоколада, которой преступник «угощает» его подругу, отравлена. Вот как ему удалось это сделать.

«Прежде всего, нам нужен аппарат для получения водорода, – важно сказал Калле. – Вот он. Это обыкновенная колба, в которую я наливаю серную кислоту и кладу несколько кусочков цинка. Тут выделяется водород, так? Если теперь сюда ввести элемент **X** в каком угодно виде, то получится газ **A**. Отсюда газ поступает для просушивания в трубку с сухим хлористым кальцием, а затем вот в эту узенькую трубочку. Здесь мы подогреваем газ на спиртовке, и он распадается на водород и чистый **X**, причем **X** осаждается на стенках трубки в виде блестящего серо-черного налета.... Стекло трубочка подогрета. Калле измельчил кусочек шоколада, всыпал его через воронку в колбу и принялся ждать, затаив дыхание.

Что такое? Да это же оно! Зеркало **X**! Страшное доказательство его правоты. Не веря своим глазам, Калле уставился на пробирку. В глубине души он все время сомневался. Теперь сомнения рассеялись».

1. Установите элемент **X**, соединения которого обнаружил Калле в шоколаде, а также напишите формулу и название двухэлементного газа **A**. Ответ подтвердите расчетами. Напишите уравнения реакций, проведенных юным сыщиком. В качестве исходного соединения, содержащего элемент **X**, примите его наиболее устойчивый оксид **B**, содержащий 75,73 масс. % **X**. Как называется такой способ определения наличия соединений **X**?

В условиях, описанных в задаче, можно получить аналогичные зеркала простых веществ элементов **Y** и **Z**, если использовать их соединения вместо **B**. Однако, в отличие от **X**, зеркала **Y** и **Z** не растворяются в аммиачном растворе перекиси водорода.

2. Напишите уравнение реакции растворения **X** в аммиачном растворе перекиси водорода, учитывая, что в ходе этой реакции образуется четырехэлементная соль **C**, содержащая **X** в высшей степени окисления. Отношение масс **X** и кислорода в соли **C** составляет **X** : O = 1,17 : 1, а массовая доля **X** – 38,85 %.

Про элементы **Y** и **Z** известно, что: а) один из элементов – ближайший сосед **X** по подгруппе, другой – ближайший сосед **X** по периоду; б) один из элементов легче **X**, другой – тяжелее; в) при сжигании 1,000 г газа **D** (аналог **A**, содержащий элемент **Y**) образовалось 1,364 г вещества **E**.

3. Установите элементы **Y** и **Z**, приведите формулы и названия веществ **D** и **E**. Свои ответы обязательно подтвердите расчетом.

4. Напишите уравнения реакции получения газа **F** (аналог **A**, содержащий элемент **Z**) из высшего оксида элемента **Z**, а также реакций газов **A** и **F** с концентрированной азотной кислотой.

5. Пользуясь данными таблицы, рассчитайте тепловой эффект реакции сжигания **D**, а также вычислите, сколько кДж тепла выделяется при сжигании 1 г **D**. Напишите термохимическое уравнение реакции сжигания вещества **D**.

Вещество	D	E	H ₂ O _(ж)
Q _{обр} , кДж/моль	-90,8	567,47	285,83

Несмотря на высокую токсичность, **X** и его соединения довольно широко используются человеком в мирных целях. Яркий тому пример – бинарное соединение **F** – один из наиболее важных полупроводниковых материалов, используемый для создания сверхвысокочастотных схем и транзисторов, диодов, фотоприемников и детекторов ядерного излучения.

6. Определите состав вещества **F**, если известно, что мольная доля **X** в нем составляет 50 %, а массовая – 51,7 %. Назовите это вещество и напишите уравнения его реакций с разбавленным раствором соляной кислоты и концентрированным раствором натриевой щелочи.

7. Кроме «Приключений Калле Блумквиста», Астрид Линдгрэн написано еще семь серий детских книг с повторяющимися персонажами, известными во всем мире. Назовите по одному главному герою двух из этих семи серий, особенно популярных в России и в странах бывшего СССР.

Задание 4. «О соединении спирта с водой»

Спирты представляют собой обширный и разнообразный класс соединений: они распространены в природе и выполняют важные функции в живых организмах. Спирты находят широчайшее применение как в промышленности, так и в повседневной жизни.



1. Поясните происхождение названия класса соединений «спирты». Какие два спирта, выпускаемых мировой химической промышленностью, являются самыми распространенными и используемыми? Для каких целей в основном используется каждый из этих спиртов?
2. В 1865 г. Д. И. Менделеев успешно защитил докторскую диссертацию «О соединении спирта с водой». Это обстоятельство способствовало появлению легенды, будто бы Дмитрий Иванович стал создателем русской 40-градусной водки. Увы, но это не более чем легенда. Кратко поясните, о чем же на самом деле была докторская диссертация этого великого русского ученого.
3. Спирты имеют существенно более высокие температуры кипения, чем соединения с аналогичным качественным и количественным составом. Объясните, с чем связано это явление.
4. Спирты способны проявлять как кислотные, так и основные свойства. Как слабые кислоты, спирты диссоциируют по связи O–H с образованием алкоксид-иона. Кислотные характеристики спиртов оценивают по константе кислотности K_a (a-acid, кислота) или величине $pK_a = -\lg K_a$. Расположите указанные соединения в ряд по увеличению кислотности (укажите у какого соединения наибольшее и наименьшее значение pK_a): вода, этанол, фенол. Кратко поясните свой ответ с использованием понятий о мезомерном и индуктивном эффектах.
5. Напишите уравнения реакции 4-гидроксиметилфенола с избытком а) натрия [1]; б) водного раствора гидроксида натрия [2].
6. Реакция с нагретым оксидом меди(II) известна качественная реакция на класс спиртов. Приведите уравнение реакции этанола с этим реагентом [3]. Все ли типы спиртов будут в неё вступать?
7. С помощью какого реагента можно отличить одноатомные спирты от многоатомных? Приведите уравнение реакции этого реагента с этиленгликолем [4]. Опишите признаки протекания качественных реакций [3-4].
8. Спирты являются одним из самых важных классов веществ в органическом синтезе. Их можно получать из самых разнообразных веществ, и также легко превращать в другие. Приведите структурные формулы веществ А-Л, изображенных на схеме справа. Для веществ В-С и D-Е приведены выходы продуктов (друг относительно друга). Дополнительно известно, что вещество В, в отличие от изомера С, может существовать в виде пары оптических изомеров или энантиомеров. В ^1H ЯМР спектрах соединений В и С наблюдаются 5 и 3 сигнала от неэквивалентных ядер протонов соответственно.

