

## Десятый класс

### Задание 10-1

#### Опыты гномов

Каждому из четырех гномов Белоснежка вынесла из лаборантской школьного кабинета химии по раствору и предложила им провести опыты. В каждом растворе помимо воды первоначально было по одному веществу. Однако первый гном, не спросив разрешения, добавил в свой раствор жидкость (не участвующую в реакциях), приготовленную им заранее в домашних условиях из двух ингредиентов и принесенную в школу. Итак, все готовы к проведению опытов. У первого, второго и третьего гномов растворы бесцветные, а у четвертого гнома раствор окрашен в желтый цвет. Далее в описании номера растворов соответствуют номерам гномов. Добавление свинцового сахара к раствору 1 приводит к появлению запаха, знакомого каждому (реакция 1). Добавление свинцового сахара к раствору 2 приводит к выпадению белого осадка и выделению бесцветного газа (реакция 2). При проведении аналогичного опыта с третьим и четвертым растворами наблюдается выпадение осадков желтого цвета (реакции 3 и 4). При прибавлении раствора 1 к раствору 2 сначала появляется розовое окрашивание, которое при дальнейшем добавлении раствора 1 исчезает и наблюдается выделение пузырьков газа без запаха (реакция 5). При добавлении раствора 1 к раствору 3 никаких изменений не происходит, однако при добавлении перекиси водорода к смеси растворов 1 и 3, раствор окрашивается в желто-коричневый цвет (реакция 6). При добавлении раствора 1 к раствору 4 желтый цвет исходного раствора становится оранжевым (реакция 7). Известно, что вещества, содержащиеся в растворах 2, 3, 4 содержат в своем составе один и тот же щелочной металл X, причем массовая доля этого элемента в веществе 2 на 15 % больше, чем в веществе 4.

1. Какие вещества содержались в исходных растворах?
2. Что произойдет при сливании растворов 3 и 4 в присутствии нескольких капель серной кислоты (реакция 8)?
3. Какую жидкость приготовил гном в домашних условиях?

## Задание 10-2

*«Над головой сомкнулась топь, заколыхался ил  
И газ болотный из глубин поднялся, забурлил...»*

*Александр Беляш*

Многие геологи, охотники, лесники и другие первопроходцы «глухих» мест иногда описывают появление над трясинной топких и гниющих болот робко дрожащих вспышек «болотного газа». Основным компонентом «болотного газа» является газ **A**, который образуется при анаэробном (без доступа кислорода) гниении остатков отмерших растений.

1. Установите состав основного компонента «болотного газа» (соединения **A**), если известно, что он является углеводородом, а содержание водорода в нем по молям в 4 раза больше, чем углерода.

2. Назовите **A** и напишите уравнение реакции его сгорания на воздухе.

Чистый газ **A** вполне устойчив на воздухе и не подвержен самовозгоранию. Появление наблюдающихся иногда вспышек «болотного газа» обусловлено присутствием в его составе очень небольшого количества водородного соединения фосфора – газа **B**, способного самовозгораться на воздухе.

3. Установите молекулярную формулу **B**, если известно, что его плотность по воздуху больше 1,5, но не превышает 3.

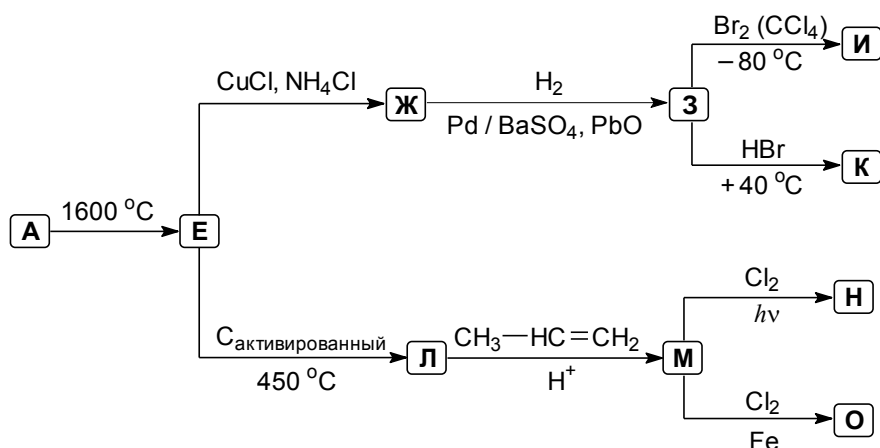
4. Изобразите структурную формулу молекулы соединения **B**. Назовите **B** и напишите уравнение реакции его самовозгорания на воздухе.

В качестве небольших примесей в состав «болотного газа» помимо **B**, могут входить газы **B**, **Г** и **Д**. Газ **B** не имеет запаха, используется для газирования напитков, при пропускании его через известковую воду образуется белый осадок. Газ **Г** имеет отвратительный запах, при соприкосновении его с влажной бумажкой, смоченной нитратом свинца (II), появляется черное окрашивание. Газ **Д** – довольно инертное соединение и неохотно вступает при комнатной температуре в большинство химических реакций.

5. Приведите молекулярные формулы и названия газов **B–Д**, если известно, что молекулярные массы **B** и **Г** различаются на 10, а **Г** и **Д** – на 6 а. е. м. Запишите уравнения реакций, описанных в задаче для газов **B** и **Г**.

6. При повышенной температуре и наличии катализаторов газ **Д** все же вступает в реакции со многими веществами. Приведите два уравнения таких реакций (с указанием условий проведения этих реакций).

Итак, вернемся к основному компоненту «болотного газа» – газу А. Он является также основным компонентом природного газа и важнейшим реагентом для синтеза многих органических соединений. Ниже Вашему вниманию представлена схема одностадийных процессов, в которой присутствует А.



7. Приведите структурные формулы и названия соединений Е – О, если дополнительно известно, что газообразное соединение Е обесцвечивает раствор бромной воды, а при пропускании его через аммиачный раствор хлорида меди (I) ( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ ) образуется красный осадок. Запишите уравнения этих реакций (Е с бромной водой и  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ ).

8. Напишите уравнение реакции окисления соединения 3 избытком нагретого раствора перманганата калия, подкисленного серной кислотой.

### Задание 10-3

Для определения аммонийного азота в органическом соединении (используемом в пиротехнике, а также в гомеопатии при лечении невралгии и боли в затылке), которое является аммонийной солью одноосновной органической кислоты и представляет собой желтые кристаллы растворимые в воде, использовали дистилляционный метод. Для этого к навеске органического соединения массой  $m$  граммов прибавили избыток гидроксида натрия, сосуд с раствором нагрели и отогнали выделяющийся газ в колбу, содержащую  $V_{\text{HCl}}$  миллилитров соляной кислоты с концентрацией  $C_{\text{HCl}}$  моль/л. Затем объем раствора довели до  $V_{p\text{-ра}}$  миллилитров дистиллированной водой и перемешали. Аликвоту этого раствора, объемом  $V_{\text{ал}}$  миллилитров оттитровали стандартным раствором NaOH с концентрацией  $C_{\text{NaOH}}$  моль/л, израсходовав  $V_{\text{NaOH}}$  миллилитров титранта.

К сожалению, лаборант, выполнявший анализ, оказался неаккуратным. На лабораторный журнал, в который он заносил данные, попали брызги реактивов, в

результате чего часть цифр стерлась. Вот что оказалось записанным в журнале (стертые цифры заменены знаками вопроса):

$$m = 0,3882 \text{ г}$$

$$V_{HCl} = 60,0 \text{ мл}$$

$$c_{HCl} = 0,5?23 \text{ моль/л}$$

$$V_{p-pa} = 2?0,0 \text{ мл}$$

$$V_{ал} = 5,00 \text{ мл}$$

$$c_{NaOH} = 0,?849 \text{ моль/л}$$

$$V_{NaOH} = 1?,00 \text{ мл}$$

Методом элементного анализа установлено, что соединение содержит 29,3 % углерода, 2,44 % водорода, 22,8 % азота и кислород. Других элементов в составе соединения нет. При подкислении водного раствора соединения соляной кислотой желтая окраска практически исчезает, при последующем подщелачивании – восстанавливается. В щелочной среде в растворе при нагревании с глюкозой или сульфидом аммония соединение дает один и тот же продукт красного цвета.

1. На примере любой соли аммония напишите уравнения химических реакций протекающих при определении аммонийного азота дистилляционным методом на следующих стадиях анализа: а) добавление к образцу щелочи; б) нагревание смеси; в) поглощение выделяющегося газа соляной кислотой в колбе-приемнике; г) титрование гидроксидом натрия. Почему нельзя титровать соли аммония гидроксидом натрия непосредственно?

2. С учетом обозначений, приведенных в условии задачи, выведите в общем виде формулу для вычисления количества  $\nu_{NH_4}$  (ммоль) аммонийного азота в образце.

3. По имеющимся данным найдите недостающие цифры. Определите брутто-формулу соединения.

4. Приведите структуры всех изомеров, отвечающих этой брутто-формуле и отличающихся положением заместителей.

5. Упорядочьте эти изомеры по возрастанию рН их водных растворов одинаковой концентрации.

6. Какое соединение анализировал лаборант, если его водному раствору отвечает наименьшее значение рН по сравнению с другими изомерами? Назовите это соединение. Солью какой органической кислоты оно является? Чем обусловлены кислотные свойства этой кислоты?

7. Напишите уравнение химического равновесия, объясняющего различную окраску соединения в кислой и щелочной средах.

8. Напишите уравнение реакции исследуемого соединения с глюкозой при нагревании в щелочной среде. Назовите продукты реакции.

### Задание 10-4

#### Получение ароматических углеводородов

Для получения ароматического углеводорода жидкое вещество X, содержащее 84.0 масс. % углерода, нагрели до 500 °С и ввели в проточный реактор, содержащий катализатор. Степень превращения X в ароматический углеводород Y в этом реакторе составляет 15 %. Смесь, вышедшую из реактора, охладили до 20 °С, газообразный продукт отделили, а полученную жидкость снова нагрели до 500 °С и опять ввели в реактор.

1. Установите формулу X и напишите уравнение реакции его превращения в Y.
2. Сколько раз надо повторить описанную выше процедуру, чтобы степень превращения X составила: а) более 30 %; б) более 50 %?

Описанный выше процесс проводили при давлении, близком к атмосферному, и в неравновесных условиях. Реальный промышленный процесс происходит при давлении в несколько десятков атмосфер. В реактор объемом 1.0 м<sup>3</sup>, содержащий катализатор конверсии, ввели 10 кг вещества X. Через некоторое время при температуре 500 °С установилось давление 27 бар (1 бар = 100 кПа).

3. Считая, что в реакторе происходит только превращение X в Y, определите: а) парциальные давления газов (в барах), находящихся в реакторе после установления равновесия; б) степень конверсии X; в) константу равновесия  $X = Y$ , выраженную через давления.

4. Предположите, почему при высоком давлении степень конверсии оказалась выше, чем при атмосферном, хотя, казалось бы, это противоречит принципу Ле Шателье.

5. Смесь, полученную в реакторе (п. 3), нагрели до 600 °С и добавили катализатор – смесь оксидов кремния и алюминия. Вещество Y превратилось в свой ближайший гомолог Z, имеющий значительно большее практическое применение, чем Y. Напишите уравнение реакции и рассчитайте степень превращения, если константа равновесия  $Y + \dots = Z + \dots$  равна 1.7. (Оставшееся вещество X и продукты его разложения не участвуют в этом процессе).

6. В каком соотношении надо смешать Y и водород, чтобы при указанных в п. 5 условиях 95 % Y превратилось в Z?

### Задание 10-5

Элементы X и Y образуют пять бинарных соединений – A, B, C, D и E.

Соединение E не реагирует с водой, водородом или кислородом даже при нагревании. При нагревании D превращается в C и E, а при взаимодействии D с хлором образуется соединение F. Соединение A существует в виде двух изомерных форм A1 и A2. Соединение B может димеризоваться с образованием B2.

Вещество	A	B	C	D	E	F
Содержание Y, %	37.3	54.3	70.4	74.8	78.1	58.5
Агрегатное состояние, н. у.	газ	газ	газ	жидкость	газ	газ

1. Приведите структурные формулы соединений A1, A2, B, B2, C-F.

Соединение F используется для синтеза негорючих органических соединений. Так, в присутствии инициаторов радикальных реакций, F присоединяется к алкенам по следующему механизму: радикал, образованный из инициатора, отщепляет от F один из атомов, образовавшийся при этом радикал присоединяется по связи C=C с образованием нового радикала, который отщепляет от F один из атомов и т. д. (обычный механизм цепной радикальной реакции). При этом в случае двух (или более) возможных направлений реакции процесс протекает в соответствии с правилами термодинамики, т. е. в случае несимметричного алкена образуется наиболее стабильный продукт радикального присоединения, а в F разрывается самая слабая связь.

2. Напишите продукт реакции F с пропеном (соединение G).

Соединение C применяется для введения в органические молекулы элемента Y. Так, реакция C с уксусной кислотой дает бесцветный газ H ( $\omega_Y = 67.9\%$ ), обладающий парниковым эффектом, но не разрушающий озоновый слой.

3. Напишите структурную формулу соединения H.