



**Высшая  
проба**  
ВСЕРОССИЙСКАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

**ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ ВАРИАНТ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО ЭТАПА**

Всероссийской олимпиады школьников «Высшая проба»  
по профилю «Химия» для 10 класса

2022/2023 уч. г.



**ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ**  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Задача 1**

Вещество **X** — желтая маслянистая жидкость, при нагревании или при ударе взрывается. **X** получают взаимодействием соединения **A** с простым веществом **B** (оба газы при н.у.). При этом **X** содержит 88,38% (по массе) элемента, образующего **B**. Помимо **X**, в реакции образуется еще соль **B**. При нагревании соль **B** разлагается давая вещества **A** и **Г** (оба газы при н.у.). Вещество **X** медленно разлагается водой с образованием **A** и неустойчивой кислоты **Д**, которая не может быть выделена в чистом виде, а существует только в водном растворе. Вещества **Г** и **Д** получают при взаимодействии **B** с водой.

Определите вещества **A—Д** и **X**, если известно, что молекулярная масса **X** находится в интервале от 100 до 140, а молекулярные массы **Г** и **Д** различаются на 16.

Напишите уравнения упомянутых реакций.

**Решение**

Условие удобно расшифровывать «с конца». Простое вещество **B** взаимодействует с водой, давая продукты **Г** и **Д**, одно из которых представляет собой неустойчивую кислоту, причем разница между молекулярными массами **Г** и **Д** равна 16 (кислород). Все это показывает, что **B** = хлор, **Г** =  $\text{HCl}$ , **Д** =  $\text{HOCl}$ .

$\text{Г}$  ( $\text{HCl}$ ) также образуется при разложении некоторой соли. Тогда соль **B** — это соль (хлорид) аммония. Соответственно  $\text{A} = \text{NH}_3$

Следовательно,  $\text{X} = \text{NCl}_3$ . Это предположение подтверждается содержанием хлора в молекуле  $\text{NCl}_3$  (88.38%).

Таким образом,  $\text{X} = \text{NCl}_3$ ,  $\text{A} = \text{N}_2$ ,  $\text{B} = \text{Cl}_2$ ,  $\text{B} = \text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{Г} = \text{HCl}$ ,  $\text{Д} = \text{HOCl}$ .

Реакции:  $4\text{NH}_3 + 3\text{Cl}_2 = \text{NCl}_3 + 3\text{NH}_4\text{Cl}$  (1)

$\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCl}$  (2)

$\text{NCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{NH}_3 + 3\text{HOCl}$  (3)

$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HCl} + \text{HOCl}$  (4)

**Задача 2**

Один из способов промышленного получения ацетилена — термический крекинг метана, при котором, помимо ацетилена, образуется водород. В реакцию вводят чистый метан, который лишь частично превращается в продукты за один проход через реактор. Непрореагировавший метан отделяют от продуктов реакции и повторно направляют в реактор. При исследовании процесса было обнаружено, что газовая смесь на выходе из реактора (до отделения метана) имеет плотность по водороду 6,0.

Определите степень превращения метана (какая доля метана в % вступила в реакцию).

Определите количественный состав смеси на выходе из реактора (в % по объему).

**Решение:**

Реакция  $2\text{CH}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{H}_2$

1) Рассмотрим превращение 1 моля метана

Пусть  $X$  моль вступило в реакцию ( $X < 1$ ). Тогда состав смеси до и после реакции можно представить следующим образом.

Компонент	моль до реакции	моль после реакции
$\text{CH}_4$	1	$1 - X$
$\text{C}_2\text{H}_2$	0	$0,5 X$
$\text{H}_2$	0	$1,5 X$
всего	1	$X + 1$

Средняя молекулярная масса конечной смеси 12. Тогда

$$16 \frac{1-x}{1+x} + 26 \frac{0.5x}{1+x} + 2 \frac{1.5x}{1+x} = 12$$

Отсюда

$$16(1 - X) + 26 \cdot 0,5X + 2 \cdot 1,5 X = 12(1 + X),$$

$X = 1/3 (0,33)$ . Это и есть степень превращения метана.

2) Определим состав смеси на выходе

Состав по объему эквивалентен составу по количеству молей. Таким образом,

$$\text{метан } (1 - X) / (1 + X) = (1 - 0,33) / (1 + 0,33) = 0,5 = 50\%$$

$$\text{ацетилен } 0,5 X / (1 + X) = 0,125 = 12,5\%$$

$$\text{водород } 1,5 X / (1 + X) = 0,375 = 37,5\%$$

Третий компонент можно также искать по разности (100% минус сумма двух других компонентов)

### Задача 3

Для исследования состава минерала его навеску массой 12,18 г полностью растворили в 60 мл воды и добавили 120 г раствора карбоната натрия с массовой долей 10%. При этом выпал осадок карбоната металла массой 5,04 г, содержащего 57,14% кислорода. Оставшийся раствор содержал только хлорид и карбонат натрия, а массовая доля катионов натрия в этом растворе была 2,78%.

Определите формулу минерала. Ответ подтвердите рассуждением и расчетом.

### Решение

Так как карбонат металла содержит 57,14% кислорода, можно определить эквивалент металла:  $M_2CO_3$

$$48 : (2x + 60) = 0,5714$$

$$x = 12. \text{ Подходит двухвалентный металл = магний, } M = 24$$

(можно сразу предположить валентность = 2, так как в осадок выпадает карбонат, что характерно для двухвалентных металлов, соответственно четырехвалентный титан подходит по массе, но не подходит по химии). При этом 5,04 г составляют 0,06 моль карбоната магния.

В исходном минерале, кроме магния, были хлорид-ионы.

$$0,06 \text{ моль хлорида магния} = 5,7 \text{ г.}$$

Минерала было взято больше (12,18 г), значит он содержит не только хлорид магния, но еще что-то. Это может быть соль натрия, так как других катионов нет.

Проверим содержание натрия:

Раствор карбоната, который добавили содержит 12 г карбоната натрия, то есть содержит 5,2 г натрия.

Рассчитаем, сколько натрия находится в растворе после выпадения осадка.

Масса раствора:  $12,18 + 60 + 120 - 5,04 = 187,14$  г. Масса катионов натрия (на основании их массовой доли) = 5,2 г.

Таким образом, в конечном растворе находится только натрий, добавленный в виде карбоната.

Минерал натрия не содержит. Остается предположить, что минерал — кристаллогидрат.

Определим формулу кристаллогидрата:

$$\text{Масса воды в составе минерала: } 12,18 - 5,7 = 6,48 \text{ г.}$$

$$\text{Количество вещества } 6,48 : 18 = 0,36.$$

Так как соли 0,06 моль, а воды 0,36 моль, то формула минерала  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ .

### Задача 4

При сжигании 4,0 г смеси двух изомерных органических соединений А и Б (с молекулярной массой менее 100) было получено 6,72 л углекислого газа (н.у.) и 3,6 г воды. Оба вещества обесцвечивают бромную воду, присоединяя по две молекулы брома, при этом в их молекулах нет тройных связей и нет третичных атомов углерода. При окислении такой же смеси А и Б перманганатом калия в кислой среде было получено только три продукта В, Г и Д. На

нейтрализацию 1,0 г каждого из продуктов В, Г и Д расходуется соответственно 22,22, 19,23 и 16,95 мл раствора едкого натра с концентрацией 1 моль/л.

Определите вещества А–Д. Приведите рассуждения и расчеты, необходимые для обоснования ответа.

**Решение:**

Сначала имеет смысл определить брутто-формулу обоих изомеров по продуктам сгорания.

При сжигании получено 0,3 моль  $\text{CO}_2$  и 0,2 моль  $\text{H}_2\text{O}$ , что соответствует  $\text{C} : \text{H} = 3 : 4$ .

Простейшая формула  $\text{C}_3\text{H}_4$  не подходит, так как во-первых не получается двух изомеров без двойных связей (метилацетилен и аллен, но метилацетилен содержит тройную связь, а циклопропен всерьез рассматривать не стоит), а во-вторых, такие вещества при жестком окислении перманганатом калия дадут преимущественно  $\text{CO}_2$ .

При умножении на два получаем  $\text{C}_6\text{H}_8$  (далее умножать нельзя, так как молекулярная масса превысит сто).

Рассмотрим продукты окисления В, Г, Д, которые представляют собой карбоновые кислоты, скорее всего двухосновные (так как в исходных веществах не было третичных атомов С, то кетонов при окислении не ожидается).

Вещество В:

22,22 мл раствора  $\text{NaOH}$  содержат 0,02222 моль щелочи, значит кислоты было 0,01111 моль. Так как взято 1,0 г кислоты, ее молярная масса 90. Это две карбоксильные группы и больше ничего, то есть щавелевая кислота. Аналогично можно получить, что Г = малоновая кислота, а Д = яблочная кислота.

Исходные соединения скорее всего содержат шестичленный цикл (не пятичленный или менее, так как третичных атомов С нет, а значит нет алкильных заместителей в цикле), в нем две двойные связи. С учетом продуктов окисления можно сделать вывод, что А и Б представляют собой циклогексен-1,4 и циклогексен-1,3.

**Задача 5**

Смесь двух кристаллических веществ массой 11,8 г полностью растворили в воде. При этом выделилось 6,72 л (н.у.) смеси газов с плотностью по водороду 5. После пропускания смеси газов над платиновым катализатором получено 2,24 л индивидуального газа (н.у.) с плотностью по водороду 15 (реакция прошла полностью). Раствор, полученный после растворения исходной смеси, содержал единственное вещество с массовой долей 5,0%, на нейтрализацию которого потребовалось 19,6 г серной кислоты.

- 1) Какие вещества содержались в исходной смеси? Определите их массы.
- 2) Какой объем воды был взят для растворения смеси? Приведите необходимые рассуждения и расчеты
- 3) Напишите уравнения упомянутых реакций.

**Решение:**

1) При пропускании над Pt компоненты смеси взаимодействуют друг с другом. Молярная масса продукта 30, молярная масса исходной смеси всего 10, т.е. она содержит водород.

Продукт реакции — этан.

Объем газа уменьшился в 3 раза, то есть соотношение компонентов реакции составляло 2 : 1. Следовательно смесь содержала ацетилен и водород.

Таким образом, исходная смесь твердых веществ представляла собой ацетиленид и гидрид одного и того же металла (т.к. в растворе одно вещество).

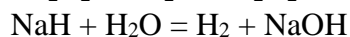
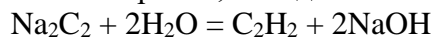
Если металл одновалентный, то ацетиленида было 0,1 моль, гидрида 0,2 моль.

Массу смеси твердых веществ можно записать в виде уравнения ( $x$  — эквивалент неизвестного металла):

$0,1(2x + 24) + 0,2(x+1) = 11,8$ , отсюда  $x = 23$ . Если металл одновалентный, то это натрий.

Для двухвалентного металла  $x = 46$ , такого металла нет.

Таким образом, исходная смесь состоит из  $\text{Na}_2\text{C}_2$  и  $\text{NaH}$ .



Количественный состав смеси: 0,1 моль ацетиленида натрия = 7 г, 0,2 моль гидрида натрия = 4,8 г.

2) Раствор:

19,6 г серной кислоты составляют 0,2 моль, значит в растворе 0,4 моль  $\text{NaOH}$  (то же количество получается, если считать на основании количеств исходных веществ).

Масса гидроксида натрия 16 г.

Пусть исходный объем воды  $Z$  мл (масса  $Z$  г).

Тогда масса раствора:  $Z + 11,8 - 0,3 \cdot 10 = Z + 8,8$  (г)

(0,3 – число моль выделившегося газа, 10 – его молярная масса).

С учетом массовой доли  $\text{NaOH}$  можно составить уравнение:

$$[16 : (Z + 8,8)] \times 100 = 5,0, \text{ отсюда } Z = 311,2 \text{ г или столько же мл}$$

Ответ 311,2 мл воды.

### Задача 6

При сгорании органического соединения **M** массой 0,500 г (плотность паров по водороду 44) образуется 1,250 г углекислого газа и 0,614 г воды. Соединение **M** взаимодействует с металлическим натрием с выделением водорода, а при окислении превращается в соединение **N**, не взаимодействующее с аммиачным раствором оксида серебра. Нагревание **M** с концентрированной серной кислотой приводит к образованию углеводорода **O**, при окислении которого в жестких условиях образуется кетон **P**, и кислота **Q**. Определите строение веществ **M**, **N**, **O**, **P** и **Q**. Напишите уравнения всех упоминавшихся реакций, укажите условия их протекания. Ответ подтвердите рассуждением и расчетом.

### Решение

Определение брутто-формулы вещества **M** стандартным способом по продуктам сгорания приводит к формуле  $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$

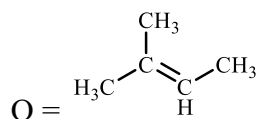
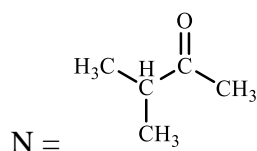
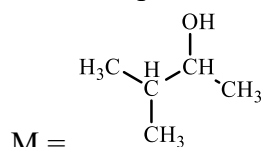
По условию задачи это

1) спирт, так как содержит 1 атом кислорода, взаимодействует с натрием с выделением водорода и окисляется

2) вторичный спирт, так как окисляется (третичный спирт не подходит), а продукт окисления — не альдегид (не взаимодействует с аммиачным раствором оксида серебра), т.е. первичный спирт также не подходит.

3) окисление углеводорода в жестких условиях указывает на разветвленный углеродный скелет.

Таким образом



P = ацетон

Q = уксусная кислота

Реакции:

