



**Задания X Региональной олимпиады по химии  
для школьников (Универсиада-2018)**

**Задача 1**

При термическом разложении 90 г безводного нитрата неизвестного металла образовалось 40 г оксида и газовая смесь с плотностью 1,984 г/л. Полученную смесь газов пропустили через 400 г 10 %-го раствора гидроксида натрия.

**Задания:**

1. Установите формулу нитрата.
2. Какое давление создали выделившиеся газы, если бы их собрали в емкость объемом 50 л при температуре 20 °С?
3. Рассчитайте массовые доли веществ в полученном растворе.

**Решение задачи 1:**

По закону сохранения массы, находим, что масса газовой смеси 50 г. $M_{\text{ср}}(\text{газ.смеси}) = 22,4 \cdot 1,984 = 44,44 \text{ г/моль}$
Обозначим через $x$ -моль $\text{NO}_2$ ; $y$ -моль $\text{O}_2$ . Составим уравнения: $46x + 32y = 50$ $\frac{x}{x+y} \cdot 46 + \frac{y}{x+y} \cdot 32 = 44,44$
Решение системы дает, что $x=1$ моль, а $y=0,125$ моль, т.е. соотношение $\text{NO}_2:\text{O}_2=8:1$ . Этому соотношению соответствует реакция $4\text{Me}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{Me}_2\text{O}_3 + 8\text{NO}_2 + \text{O}_2$ из всех возможных: $2\text{MeNO}_3 = 2\text{MeNO}_2 + \text{O}_2$ (не смесь газов), $\text{Me}(\text{NO}_3)_2 = \text{Me}(\text{NO}_2)_2 + \text{O}_2$ (не смесь) $2\text{Me}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{MeO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$ $4\text{Me}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{Me}_2\text{O}_3 + 8\text{NO}_2 + \text{O}_2$ $2\text{Me}(\text{NO}_3)_2 = 2\text{MeO}_2 + 4\text{NO}_2$ (не смесь), $4\text{Me}(\text{NO}_3)_3 = 2\text{Me}_2\text{O}_3 + 12\text{NO}_2 + 3\text{O}_2$
$n(\text{Me}_2\text{O}_3) = 2n(\text{O}_2) = 0,25$ моль, $M(\text{Me}_2\text{O}_3) = 40:0,25 = 160$ г/моль. $M(\text{Me}) = (160-48):2 = 56$ г/моль, Следовательно, металл –Fe.
По уравнению Менделеева-Клапейрона $PV = nRT$ рассчитываем давление: $P = \frac{nRT}{V} = \frac{(1 + 0,125) \cdot 8,314 \cdot (273 + 20)}{50} = 54,81 \text{ кПа}$
$n(\text{NaOH}) = 400:0,1:40 = 1$ моль протекающие реакции $4\text{NaOH} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2 = 4\text{NaNO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$ Согласно этой реакции реагирует 0,125 моль кислорода, 0,5 моль оксида азота (+4) и 0,5 моль гидроксида натрия с образованием 0,5 моль нитрата натрия. $2\text{NaOH} + 2\text{NO}_2 = \text{NaNO}_3 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ Оставшиеся 0,5 моль гидроксида натрия и 0,5 моль оксида азота (+4) взаимодействуют полностью с образованием 0,25 моль $\text{NaNO}_3$ и 0,25 моль $\text{NaNO}_2$ . $n(\text{NaNO}_3) = 0,75$ моль; $n(\text{NaNO}_2) = 0,25$ моль; $m(\text{NaNO}_3) = 0,75 \cdot 85 = 63,75$ г; $m(\text{NaNO}_2) = 0,25 \cdot 69 = 17,25$ г; $m(\text{р-ра}) = 400 + m(\text{NO}_2) + m(\text{O}_2) = 400 + 50 = 450$ г. $\omega(\text{NaNO}_3) = \frac{63,75}{450} \cdot 100 = 14,17\%$ , $\omega(\text{NaNO}_2) = \frac{17,25}{450} \cdot 100 = 3,83\%$
<b>ИТОГО:</b>

## Задача 2

При хлорировании 46 г толуола хлором на свету образовалась смесь моно- и дихлорпроизводных, которая нацело реагирует с раствором, приготовленным из 25 г гидроксида натрия.

### Задания:

1. Составьте уравнения реакций.
2. Определите процентный состав смеси моно- и дихлорпроизводных.

### Решение задачи 2

Уравнения реакций хлорирования толуола: $C_6H_5CH_3 + Cl_2 \text{ (свет)} \rightarrow C_6H_5CH_2Cl + HCl$ (фенилхлорметан) $C_6H_5CH_3 + 2 Cl_2 \text{ (свет)} \rightarrow C_6H_5CHCl_2 + 2 HCl$ (фенилдихлорметан)
Уравнения реакций со щелочью: $C_6H_5CH_2Cl + NaOH \rightarrow C_6H_5CH_2OH + NaCl$ (фенилметанол) $C_6H_5CHCl_2 + 2 NaOH \rightarrow C_6H_5CHO + 2 NaCl + H_2O$ (бензальдегид)
Количество вещества толуола $\nu = 46 \text{ г} : 92 \text{ г/моль} = 0,5 \text{ моль}$ Значит фенилхлорметана ( $x$ моль) и фенилдихлорметана ( $y$ моль) в сумме = 0,5 моль $x + y = 0,5$
Количество вещества NaOH: $25 \text{ г} : 40 \text{ г/моль} = 0,625 \text{ моль}$ На реакцию $x$ моль фенилхлорметана необходимо $x$ моль NaOH. На реакцию $y$ моль фенилдихлорметана необходимо $2y$ моль NaOH. $x + 2y = 0,625$
Составляем систему уравнений и решаем ее $x + y = 0,5$ $x + 2y = 0,625$ $x = 0,375 \text{ моль}$ $y = 0,125 \text{ моль}$
Определяем состав смеси Фенилхлорметан: $M = 126,5 \text{ г/моль}$ , $m = 126,5 \cdot 0,375 = 47,44 \text{ г}$ . Фенилдихлорметан: $M = 161 \text{ г/моль}$ , $m = 161 \cdot 0,125 = 20,125 \text{ г}$ . Масса смеси $47,44 + 20,125 = 67,565 \text{ г}$ $\omega$ (Фенилхлорметана) = $47,44 / 67,565 = 0,702$ - 70,2 % $\omega$ (Фенилдихлорметана) = $20,125 / 67,565 = 0,298$ - 29,8 %

### Задача 3

Вещества X и Y по отношению друг к другу являются изомерами. Молекулы обоих веществ имеют разветвленную цепь из пяти атомов углерода и содержат одинаковый изопропильный фрагмент.

X – вещество природного происхождения, входит в состав многих белков, проявляет амфотерные свойства, реагируя, например, с соляной кислотой (уравнение 1) и раствором гидроксида натрия (уравнение 2). При восстановлении Y, (уравнение 3) образуется вещество, обладающее основными свойствами (подтвердите уравнением соответствующей реакции 4) и взаимодействующее с азотистой кислотой с выделением азота (уравнение 5)

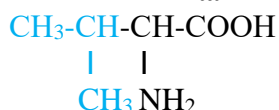
#### Задания:

1. Напишите возможные формулы и названия веществ X и Y.
2. Составьте уравнения упомянутых в задании химических реакций 1-5.
3. Назовите продукты реакций 1-5.

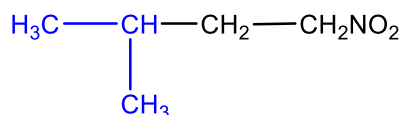
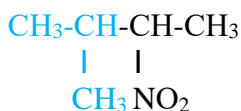
#### Решение задачи 3:

Изопропильный фрагмент –  $(\text{CH}_3)_2\text{CH}$ - (выделен в формулах синим)

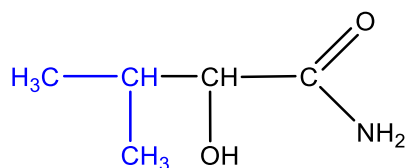
Веществом X является аминокислота **валин (2-амино-3-метилбутановая кислота)**:



Веществом Y могут являться **3-метил-2-нитробутан** или **3-метил-1-нитробутан**:

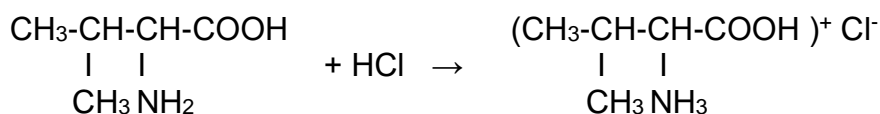


Уравнения 3-5 могут быть написаны как для одного, так и для другого изомера. Кроме того, могут писать **амид 2-гидроксипропановой кислоты**



- восстанавливается до аминокспирта, реагирующего с азотистой кислотой до диола и протонирующегося по аминогруппе.

Реакции, доказывающие амфотерность валина (уравнение 1):

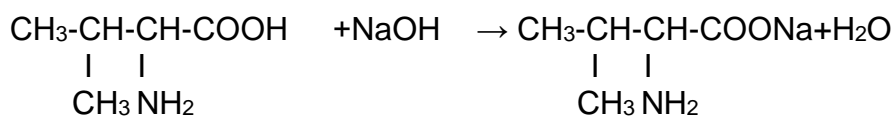


гидрохлорид валина

**гидрохлорид 2-амино-3-метилбутановой кислоты**

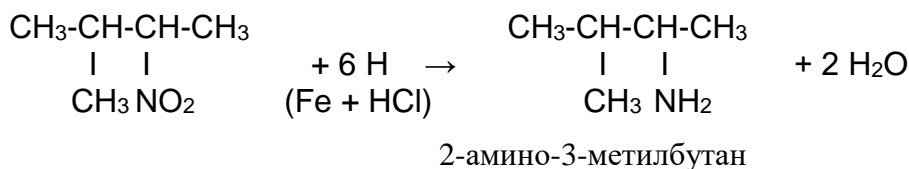
**хлорид 2-амонио-3-метилбутановой кислоты**

(уравнение 2)

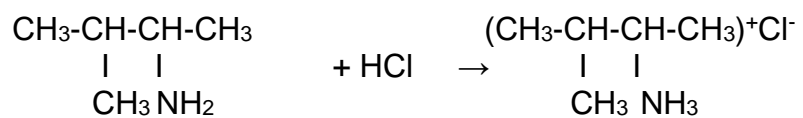


валинат натрия, **2-амино-3-метилбуаноат натрия**

Реакция восстановления 2-метил-3-нитробутана (уравнение 3):



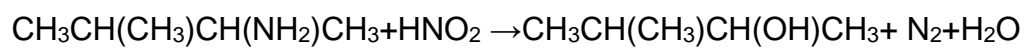
Реакция, доказывающая основные свойства 2-амино-3-метилбутана (уравнение 4):



гидрохлорид 2-амино-3-метилбутана

хлорид 2-аммоний-3-метилбутана

Реакция 2-амино-3-метилбутана с азотистой кислотой (уравнение 5):



3-метил-2-бутанол

азот

#### Задача 4

На столе у лаборанта стоят без надписей три раствора, в каждом из которых находится одно вещество. Для их идентификации он решил их смешать и проанализировать. При сливании первого и второго растворов выпадает в осадок гидроксид алюминия, а в растворе остается карбонат натрия. При сливании первого и третьего растворов в осадок выпадает гидроксид алюминия, выделяется углекислый газ, а в растворе остается хлорид натрия. При сливании второго и третьего растворов в осадок выпадает гидроксид алюминия, а в растворе остается хлорид натрия. Известно, что массовая доля натрия в соединении, находящемся в растворе номер 1, равна 27,38%; массовая доля алюминия в соединении, находящемся в растворе номер 2, равна 22,88%.

##### Задания:

1. Найдите состав растворов и напишите уравнения реакций.
2. Рассчитайте массу гидроксида алюминия, образующуюся в каждом опыте, если в каждом растворе содержится по 0,3 моль веществ.

##### Решение задачи 4:

Можно заметить, что первый раствор - это раствор карбоната или гидрокарбон-ион, т.к. при сливании 1+2 и 1+3 растворов в продуктах реакций присутствовали карбонат и соответствующий угольной кислоте оксид. Карбонат-анион в растворе может присутствовать только в паре катионом натрия, т.к. карбонат алюминия не существует в растворе.

**По массовой доле натрия определим, что это гидрокарбонат натрия**

$$\omega(\text{Na}) = \frac{M(\text{Na})}{M(\text{NaHCO}_3)} = \frac{23}{84} = 0,2738$$

Третий раствор - хлорид, т.к. в реакциях с его участием в растворе остается хлорид. Хлорид алюминия

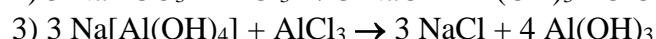
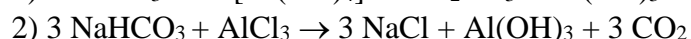
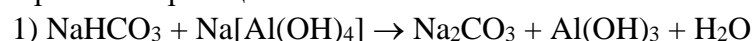
Второй раствор не должен содержать ничего кроме натрия и алюминия. Это может быть только щелочной раствор гидроксида алюминия (гидроксоалюминат натрия  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$  или  $\text{Na}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$ ).

**По массовой доле алюминия определим, что это  $\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$**

$$\omega(\text{Al}) = \frac{M(\text{Al})}{M(\text{соли})}$$

$$M(\text{соли}) = \frac{27}{0,2288} = 118 \text{ г/моль}$$

Уравнения реакций:



**Расчет массы  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в каждой реакции:**

**1) По реакции 1 образуется 0,3 моль  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,3 \cdot 78 = 23,4 \text{ г}$**

**2) По реакции 2 образуется 0,1 моль  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,1 \cdot 78 = 7,8 \text{ г}$**

**3) По реакции 3 образуется 0,4 моль  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $m(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0,4 \cdot 78 = 31,2 \text{ г}$**

### Задача 5

На две чашки весов экспериментатор установил стеклянные стаканчики А и Б одинаковой массы. В стакан А налил 98 мл 5% раствора сульфата меди (2) плотностью  $1,02 \text{ г/см}^3$ , а в другой – такое количество 5% раствора КОН, которое позволило уравновесить обе чашки весов.

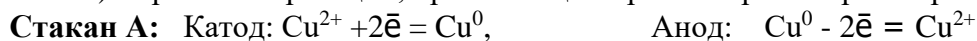
Затем, сняв стаканчики с весов, экспериментатор пропускал через оба раствора постоянный электрический ток в течение одного и того же времени. При этом в стакан А были опущены **медные электроды**, а в стакан Б – **платиновые**. В результате электролиза, из содержавшегося в стакане Б раствора выделились газы, объем которых (при приведении к н.у.) составил 3,36 л. По окончании электролиза металлические электроды были извлечены из растворов, а стаканчики А и Б вновь были установлены на чашки весов.

#### Задания:

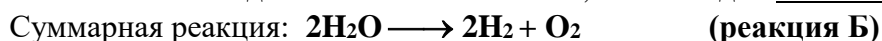
1. Составьте уравнения реакций, протекающих при электролизе растворов в каждом стаканчике.
2. Гирьки какой массы и на какую чашку весов (к стаканчику А или Б) надо установить для достижения равновесия?
3. Какова концентрация (массовая доля) растворов в каждом стаканчике после электролиза?

#### Решение задачи 5:

1) Уравнения реакций, протекающих при электролизе растворов:



Фактически, при использовании растворимого медного анода в системе происходит перенос меди с анода на катод, при этом состав и масса раствора не изменяются.



Таким образом, в стаканчике Б происходил электролиз воды.

2) С учетом изложенного в пункте 1 ясно, что масса 2го раствора (в стаканчике Б) уменьшилась на массу разложившейся при электролизе воды (или на сумму масс улетучившихся  $\text{H}_2 + \text{O}_2$ ). Масса раствора в стакане А и концентрация сульфата меди в растворе – не изменились.

Согласно уравнению реакции Б объемы водорода и кислорода, выделившихся при электролизе 2го раствора соотносятся как 2 к 1. Следовательно, объем выделившегося кислорода составляет  $1/3$ , а водорода -  $2/3$  от суммарного объема выделившихся газов (3,36 литра), что соответствует 2, 24 и 1,12 л. При пересчете в моли это дает 0,1 моль  $\text{H}_2$  и 0,05 моль  $\text{O}_2$ . Количество прореагировавшей воды (см уравнение реакции Б) равно количеству выделившегося водорода и составляет 0,1 моль. Масса разложившейся при электролизе воды, а значит и убыль массы содержимого стаканчика Б, составляет  $m(\text{H}_2\text{O}) = \Delta m = 0,1 \text{ моль} * M(\text{H}_2\text{O}) = 0,1 * 18 = 1,8 \text{ г}$

**Таким образом, для того, чтобы уравновесить весы на чашку, где находится стаканчик Б надо добавить гирьки массой 1,8 г.**

3) Как отмечалось ранее, изменение концентрации после электролиза произошло только в растворе Б. Исходная масса раствора была равна массе раствора А (по условию) и составляла

$$m(\text{Б}) = m(\text{А}) = V_{\text{р-ра}}(\text{А}) * \rho(\text{А}) = 98 \text{ см}^3 * 1,02 \text{ г/см}^3 = 99,96 \text{ г} \approx 100 \text{ г}$$

Масса КОН в растворе Б составляла  $m(\text{КОН}) = (100 \text{ г} * 5\%) / 100\% = 5 \text{ г}$

После электролиза масса КОН не изменилась, а масса раствора составила

$$m_{2\text{р-ра}}(\text{КОН}) = 100 \text{ г} - 1,8 \text{ г} = 98,2 \text{ г}$$

Массовая доля КОН в оставшемся после электролиза растворе:

$$\omega_2(\text{КОН}) = m(\text{КОН}) / m_{2\text{р-ра}}(\text{КОН}) * 100\% = 5 \text{ г} / 98,2 \text{ г} * 100\% = 5,09\% \approx 5,1\%$$

#### Ответы:

- 2) На чашку весов со стаканчиком Б надо положить гирьку массой 1,8 г.
- 3) Концентрация раствора сульфата меди после электролиза не изменится, а массовая доля КОН в стаканчике Б вырастет до 5,1%.