

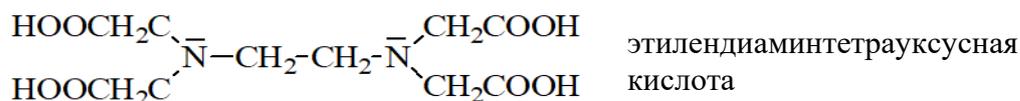
**Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.***

1 вариант

11 класс

Задача 11-1

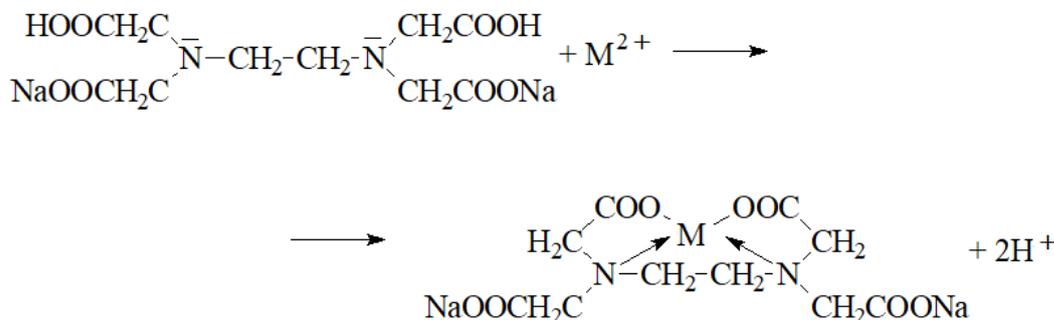
Трилон Б – это химический реагент, который широко используется в аналитической химии. Он представляет собой динатриевую соль этилендиаминтетрауксусной кислоты и взаимодействует с ионами различных металлов в молярном соотношении 1:1 с образованием устойчивого комплексного соединения. Напишите уравнение реакции трилона Б с ионами двухвалентного металла, учитывая, что при образовании комплексного соединения ион металла замещает ионы водорода карбоксильных групп и одновременно образует связи с атомами азота по донорно-акцепторному механизму.



Для определения общей жесткости воды (суммарное содержание солей кальция и магния) к 20 мл анализируемой воды прилили 0.05 моль/л раствор трилона Б до окончания реакции. Всего потребовалось 15.6 мл. Определите жесткость воды в градусах жесткости (°Ж), учитывая, что 1°Ж = 0.5 ммоль/л. Какова концентрация каждого из ионов в воде в мг/л, если число ионов кальция в 4 раза больше, чем ионов магния?

Решение

Реакция взаимодействия трилона Б с ионами двухвалентного металла:



(допускается другое обозначение донорно-акцепторной связи)

На реакцию с анализируемой водой потребовалось 0.05 моль/л · 0.0156 л = 0.00078 моль = 0.78 ммоль трилона Б. Следовательно суммарная концентрация солей магния и кальция в воде составляет 0.78 ммоль / 0.02 л = 39 ммоль/л = 39/0.5 = 78°Ж.

Концентрация ионов кальция в воде составляет 39 ммоль/л · 4 / 5 = 31.2 ммоль/л или 0.0312 моль/л или 0.0312 моль/л · 40 г/моль = 1.248 г/л = 1248 мг/л.

Концентрация ионов магния в воде составляет 39 ммоль/л · 1 / 5 = 7.8 ммоль/л или 0.0078 моль/л или 0.0078 моль/л · 24 г/моль = 0.1872 г/л = 187.2 мг/л.

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За написание уравнения реакции | 10 б. |
| 2. За расчет общей жесткости в градусах жесткости | 5 б. |
| 3. За расчет концентрации каждого из ионов в мг/л по 5 б. | 10 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-2

Белое кристаллическое вещество А встречается в природе в виде минерала, оно может использоваться в составе смесей для борьбы с вредителями, в средствах для стирки и даже для отбеливания зубов. В промышленных условиях это вещество может быть получено осторожным добавлением борной кислоты к насыщенному раствору кальцинированной соды и нагреванием полученной смеси до температуры 90-100°C. В соответствии со стехиометрией реакции 503 мл 17.7% раствора соды с плотностью 1.191 г/мл взаимодействует с 248 г борной кислоты. При этом выделяется 44 г газа и остается раствор, содержащий 25.16% вещества В. Из этого раствора путем осторожного выпаривания воды может быть получено 382 г вещества А. Установите формулы веществ А и В, если известно, что вещество В образуется в результате дегидратации А, при нагревании 1 моль А убыль массы составляет 180 г. Напишите уравнение протекающей реакции. Ответ поясните и подтвердите расчетами.

Решение

Найдем массы и количества реагирующих веществ.

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) \cdot \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г}, n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г} / (106 \text{ г/моль}) = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г}, n(\text{H}_3\text{BO}_3) = 248 \text{ г} / (62 \text{ г/моль}) = 4 \text{ моль}$$

$$m(\text{смеси до реакции}) = m(\text{р-ра Na}_2\text{CO}_3) + m(\text{H}_3\text{BO}_3) = V(\text{р-ра}) \cdot \rho(\text{р-ра}) + m(\text{H}_3\text{BO}_3) = 503 \text{ г} \cdot 1.191 \text{ г/мл} + 248 \text{ г} = 599 + 248 \text{ г} = 847 \text{ г}$$

Единственный газ, который может выделиться в результате реакции Na_2CO_3 с H_3BO_3 – это CO_2 .

$$m(\text{CO}_2) = 44 \text{ г}, n(\text{CO}_2) = 44 \text{ г} / 44 \text{ г/моль} = 1 \text{ моль}$$

$$m(\text{смеси после реакции}) = 847 \text{ г} - 44 \text{ г} = 803 \text{ г}$$

$$m(\text{В}) = 803 \text{ г} \cdot 0.2516 = 202 \text{ г},$$

$$m(\text{А}) = 382 \text{ г}, m(\text{А}) - m(\text{В}) = 382 \text{ г} - 202 \text{ г} = 180 \text{ г}$$

В условии сказано, что вещество В образуется в результате дегидратации А, а при нагревании 1 моль А убыль массы составляет 180 г. Следовательно, в результате взаимодействия 1 моль Na_2CO_3 с 4 моль H_3BO_3 образуется 1 моль вещества В (а из него при выпаривании 1 моль А), 1 моль CO_2 .

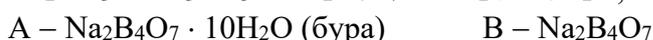
Для составления реакции и установления формулы вещества В рассчитаем массу воды до и после реакции.

$$m(\text{H}_2\text{O до реакции}) = m(\text{р-ра соды}) - m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 599 \text{ г} - 106 \text{ г} = 493 \text{ г},$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 493 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 27.4 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{O после реакции}) = m(\text{р-ра после реакции}) - m(\text{В}) = 803 \text{ г} - 202 \text{ г} = 601 \text{ г}; n(\text{H}_2\text{O}) = 601 \text{ г} / 18 \text{ г/моль} = 33.4 \text{ моль}$$

Следовательно, в ходе реакции образовалось 6 моль воды. На основании установленных коэффициентов запишем уравнение реакции с коэффициентами и найдем формулы В.



Разбалловка

За установления формул веществ А и В (включая расчеты) по 10 б.

20 б.

За уравнение реакции

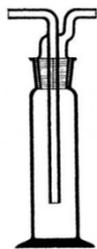
5 б.

Всего:

25 б.

Задача 11-3

Полное сгорание 53.4 г (8.96 л) паров органического вещества А требует 17.92 л кислорода и приводит к образованию в качестве продуктов только 79 г смеси двух газообразных при нормальных условиях продуктов Б и В общим объемом 44.8 л, мольная доля Б составляет 40%. Продукт В представляет бинарное вещество и содержит 1.2 г водорода. Смесь Б и В при пропускании через склянку Дрекселя (см. рис.) с избытком насыщенного раствора гидрокарбоната натрия (питьевой соды) вызвала бурное вскипание раствора, на выходе из склянки объем конечного газа сохранился 44.8 л, а масса увеличилась на 9 г по сравнению с массой (Б+В). Продукта В в конечном газе нет. Все объемы определены при н.у. Определите вещество А, которое включает 3 элемента и не содержит кислород. Напишите структурные формулы двух его изомеров. Составьте уравнения всех протекающих реакций.



Решение

Определим количество вещества и молярную массу органического вещества А: $n(A) = 8.96/22.4 = 0.4$ моль. $M(A) = 53.4/0.4 = 133.5$ г/моль.

Определим количество вещества и молярную массу конечного газа: $n(\text{конечного газа}) = 44.8/22.4 = 2$ моль. $M(\text{конечного газа}) = 88/2 = 44$ г/моль. Это чистый углекислый газ.

Определим количество вещества элемента водорода в продукте В: $n(H) = 1.2/1 = 1.2$ моль. Бинарным соединением водорода В не может быть вода, так как она не газообразная при н.у. Значит бинарное вещество В – это соединение водорода и третьего элемента Z, оно поглощается содой с выделением углекислого газа.

Определим количество вещества кислорода, участвовавшего в горении: $n(O_2) = 17.92/22.4 = 0.8$ моль. Весь кислород израсходовался на окисление углерода, содержащегося в А, до углекислого газа – продукта Б. Значит углерода в сгоревшем А было: $n(C) = n(O_2) = 0.8$ моль. $m(C) = 0.8 \cdot 12 = 9.6$ г.

Итак, 0.4 моль А содержит 0.8 моль углерода и 1.2 моль водорода.

Следовательно, формулу А можно определить как $C_2H_3Z_z$.

$C_2H_3Z_z + 2O_2 \Rightarrow 2CO_2 + zHZ$ Соотношение газов Б (CO_2) и В по условию равно 40 : 60 = 2 : 3. Следовательно, В – это HZ, $z = 3$.

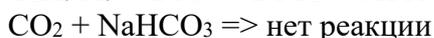
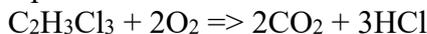
$C_2H_3Z_3 + 2O_2 \Rightarrow 2CO_2 + 3HZ$

Определим Z. По уравнению: $n(Z) = n(H) = 1.2$ моль. $m(Z) = 53.4 - m(C) - m(H) = 53.4 - 9.6 - 1.2 = 42.6$ г. $M(Z) = m(Z)/n(Z) = 42.6/1.2 = 35.5$ г/моль. Значит Z – это Cl.

Общая формула: $C_2H_3Cl_3$.

Структурные формулы 2 изомеров: CH_3-CCl_3 (1,1,1-трихлорэтан, А1), $CHCl_2-CH_2Cl$ (1,1,2-трихлорэтан, А2). $M = 133.5$ г/моль, это совпало с расчетным.

Уравнения:



Разбалловка

За формулы А1, А2, Б, В и за элемент Cl по 3 б.

15 б.

За уравнения реакций с участием O_2 и соды по 5 б.

10 б.

Всего

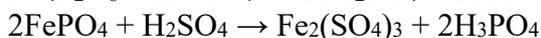
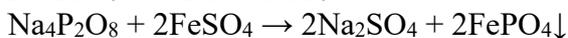
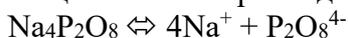
25 б.

Задача 11-4

Молекула вещества А, относящегося к классу пероксидов, включает 2 атома элемента С, имеющего в ядре 16 нейтронов и отличное от этого число протонов, 8 атомов элемента В, относящегося ко 2 периоду (атомы В находятся в 2 разных степенях окисления, средняя степень окисления их равна -1.75), а также 4 атома элемента D, имеющего в ядре 11 протонов. В водном растворе молекула распадается на 5 ионов. К прозрачному бесцветному водному раствору вещества А добавили избыток раствора сульфата железа(II) (100 мл, концентрация 0.04 моль/л), при этом выделился желтый осадок. Смесь подкислили серной кислотой, и образовавшийся прозрачный раствор оттитровали 0.02 моль/л раствором перманганата калия до исчезающей фиолетовой окраски, при этом эквивалентный объем раствора перманганата калия составил 10 мл. Определите неизвестное вещество А, напишите его структурную формулу, найдите его количество в исходном растворе. Напишите уравнение электролитической диссоциации вещества А и уравнения всех протекающих реакций.

Решение

Вещество А – пероксидифосфат натрия $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8$ $(\text{NaO})_2\text{P}(=\text{O})-\text{O}-\text{O}-\text{P}(=\text{O})(\text{ONa})_2$



$$n(\text{FeSO}_4 \text{ исходного}) = 100 \cdot 0.04 = 4 \text{ ммоль.}$$

$$n(\text{KMnO}_4) = 10 \cdot 0.02 = 0.2 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Тогда } n(\text{FeSO}_4, \text{ прореагировавшего с KMnO}_4) = 0.2 \cdot 5 = 1 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Значит } n(\text{FeSO}_4, \text{ прореагировавшего с Na}_4\text{P}_2\text{O}_8) = 4 - 1 = 3 \text{ ммоль.}$$

$$\text{Значит } n(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8) = 0.5 \cdot 3 = 1.5 \text{ ммоль.}$$

Разбалловка

За определение 3 элементов по 1 б.	3 б.
За общую и структурную формулу по 2 б.	4 б.
За 4 уравнения реакций по 3 б.	12 б.
За нахождение $n(\text{KMnO}_4)$ 0.2 ммоль и $(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_8)$ 1.5 ммоль по 3 б.	6 б.
Всего	25 б

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2023/24 уч.г.
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР. *Время выполнения – 90 минут.*

2 вариант

11 класс

Задача 11-1

Некоторая кислота А может образовать с ионами металла Х три безводные соли В, С и D в зависимости от кислотности среды. Установите формулы зашифрованных веществ, учитывая следующие данные:

- массовая доля кислорода в А составляет 45.1%,
- металл Х в водном растворе проявляет постоянную степень окисления +2,
- молярные массы В, С и D относятся как 1.512 : 1 : 2.488.

Ответ обоснуйте и подтвердите необходимыми расчетами. В расчетах молярные массы округляйте до десятых.

Решение

Поскольку кислота А в зависимости от кислотности среды образует с ионами металла Х три безводные соли, то она является трехосновной кислотой и ее формулу в общем виде можно записать следующим образом: H_3EO_y . Молярную массу кислоты можно найти по массовой доле кислорода:

$$M(A) = M(O) \cdot y / 0.451.$$

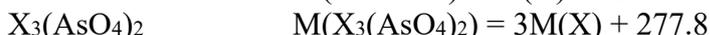
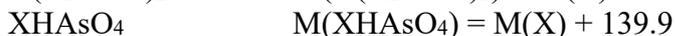
Отсюда найдем молярную массу элемента Э:

$$M(E) = M(A) - 3 \cdot M(H) - y \cdot M(O) = M(O) \cdot y / 0.451 - 3 - y \cdot M(O) = 1.217 \cdot M(O) \cdot y - 3.$$

Единственный приемлемый ответ получаем при $y = 4$:

$$M(E) = 74.9 - \text{мышьяк}, A - H_3AsO_4 - \text{мышьяковая кислота}.$$

В зависимости от кислотности мышьяковая кислота с ионами X^{2+} образует три соли:



Из условия можно записать:

$$M(X(H_2AsO_4)_2) / M(XHASO_4) = (M(X) + 281.8) / (M(X) + 139.9) = 1.512.$$

или

$$M(X_3(AsO_4)_2) / M(XHASO_4) = (3M(X) + 277.8) / (M(X) + 139.9) = 2.488.$$

Отсюда находим, что $M(X) = 137.3$ г/моль, Х – это барий.

Ответ:



Разбалловка

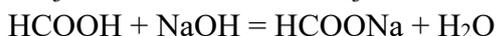
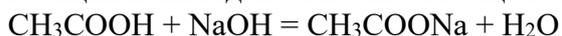
- | | |
|--|-------|
| 1. За установление А, В, С, D, Х по 4 б. | 20 б. |
| 2. За объяснения и расчеты | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-2

В одной колбе находится водный раствор уксусной кислоты, а в другой – муравьиной кислоты. Известно, что концентрации ионов водорода H^+ в обоих растворах одинаковы и равны по 0.001 моль/л. Рассчитайте степень диссоциации каждой кислоты, если на реакцию с 10 мл раствора уксусной кислоты потребовалось 5.6 мл 0.1 моль/л раствора NaOH, а на реакцию с таким же объемом муравьиной кислоты пошло в 10 раз меньше щелочи. Какое заключение о силе кислот можно сделать по расчетным значениям? Можно ли использовать эти данные для сравнения силы уксусной и муравьиной кислот? Какая из этих кислот сильнее? Ответ обоснуйте и объясните с точки зрения строения молекул. Напишите уравнения протекающих реакций.

Решение

Реакции взаимодействия кислот с щелочью:



По результатам взаимодействия с раствором щелочи найдем концентрации кислот.

На реакцию с 10 мл уксусной кислоты потребовалось $0.1 \cdot 5.6 \cdot 10^{-3} = 5.6 \cdot 10^{-4}$ моль NaOH, а на реакцию с 10 мл муравьиной кислоты - $5.6 \cdot 10^{-4} / 10 = 5.6 \cdot 10^{-5}$ моль NaOH. Так как кислоты взаимодействуют с щелочью в молярном соотношении 1:1, то в 10 мл раствора уксусной кислоты содержится $5.6 \cdot 10^{-4}$ моль CH_3COOH , а в 10 мл раствора муравьиной кислоты $5.6 \cdot 10^{-5}$ моль $HCOOH$. С учетом этого рассчитаем концентрации кислот:

$$C(CH_3COOH) = 5.6 \cdot 10^{-4} \text{ моль} / 0.01 \text{ л} = 5.6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л};$$

$$C(HCOOH) = 5.6 \cdot 10^{-5} \text{ моль} / 0.01 \text{ л} = 5.6 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Реакции диссоциации:



Степень диссоциации α представляет собой отношение концентрации продиссоциировавших молекул кислоты к общей концентрации кислоты. Учитывая, что концентрация ионов водорода совпадает с концентрацией продиссоциировавших молекул кислоты, значение α можно рассчитать по формуле: $\alpha = C(H^+) / C_{\text{кислоты}}$.

$$\alpha(CH_3COOH) = C(H^+) / C(CH_3COOH) = 0.001 / 5.6 \cdot 10^{-2} = 0.0179 \text{ или } 1.79\%$$

$$\alpha(HCOOH) = C(H^+) / C(HCOOH) = 0.001 / 5.6 \cdot 10^{-3} = 0.179 \text{ или } 17.9\%$$

Расчетные значения α свидетельствуют о том, что обе кислоты слабые. Сравнить силу кислот по полученным расчетным данным не корректно, так как степень диссоциации зависит не только от природы слабой кислоты, но и от ее концентрации (чем меньше концентрация, тем больше степень диссоциации). С точки зрения строения молекул более сильной кислотой является муравьиная, так как метильная группа, связанная с углеродом карбоксильной группы уксусной кислоты, обладает положительным индукционным эффектом и является электронодонорной и она частично компенсирует потребность атома кислорода в электронной плотности. В результате этого связь O-H становится менее полярной, что затрудняет отщепление иона водорода.

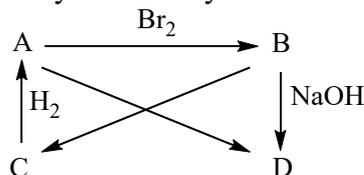
Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За написание уравнений реакции по 2 б. | 8 б. |
| 2. За расчет степени диссоциации по 5 б. | 10 б. |
| 3. За оценку силы кислот по расчетным данным | 2 б. |
| 4. За объяснение относительной силы кислот | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 11-3

Среди зашифрованных веществ А, В, С, D есть алкин и алкен, различающиеся массовой долей водорода в 1.858 раза.

1. Определите вещества А, В, С, D, назовите их и напишите структурные формулы.
2. Запишите 5 уравнений реакций с указанием условий их протекания.



Решение

Пусть алкен имеет формулу C_nH_{2n} , для него $\omega_1 = (2n)/(14n) = 0.1429$.

Пусть алкин имеет формулу C_nH_{2n-2} , для него $\omega_2 = (2n-2)/(14n-2)$.

По условию задачи $\omega_1 = 1.858\omega_2$ (содержание водорода в алкене больше, чем в алкине).

Составим уравнение: $0.1429 = 1.858 \cdot (2n-2)/(14n-2)$ $0.0769(14n-2) = 2n-2$

$0.0769(14n-2) = 2n-2$ $1.0766n - 0.1538 = 2n-2$ $0.9234n = 1.8462$ $n = 2$.

Значит алкен **A** – этен C_2H_4 , а алкин **C** – этин C_2H_2 .

$CH_2=CH_2 + Br_2 \rightarrow CH_2Br-CH_2Br$ 1,2-дибромэтан **B** (20°, бромная вода)

$CH_2BrCH_2Br + 2NaOH \rightarrow 2NaBr + CH_2OHCH_2OH$ этандиол **D** (NaOH водн., t)

$CH_2BrCH_2Br + 2NaOH \rightarrow 2NaBr + 2H_2O + C_2H_2$ этин (NaOH спирт., t)

$C_2H_2 + H_2 \rightarrow CH_2=CH_2$ этен (Pd/PbCO₃ катализатор, t)

$CH_2=CH_2 + (O) + H_2O \rightarrow CH_2OHCH_2OH$ этандиол (KMnO₄ водн., 20°)

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За определение A этена и C этина с использованием $\omega(H)$ в них | 5 б. |
| 2. За 5 уравнений с условиями протекания, структурными формулами и названиями продуктов по 4 б. | 20 б. |
| Всего | 25 б. |

Задача 11-4

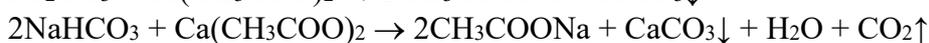
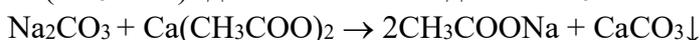
При растворении 32.8 г смеси твердых гидрокарбоната натрия и кристаллической соды $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ в некотором количестве 10%-ного раствора соляной кислоты выделился газ объемом 3360 мл (нормальные условия). Полученный раствор не мутнеет при добавлении к нему раствора ацетата кальция.

1. Составьте уравнения всех протекающих реакций.
2. Определите массовую долю гидрокарбоната натрия в исходной твердой смеси.
3. Определите количество вещества выделившегося газа (моль).
4. Сделайте заключение о том, полностью ли прореагировали обе исходные соли, подтвердив заключение уравнениями реакций.
5. Напишите уравнения реакций, составляющих основу метода Сольве промышленного получения гидрокарбоната и карбоната натрия из хлорида натрия.

Решение



Исходные Na_2CO_3 и NaHCO_3 прореагировали полностью. В противном случае раствор $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ дал бы белый осадок CaCO_3 :



Определим общее количество CO_2 по объему: $n(\text{CO}_2) = 3.36/22.4 = 0.15$ моль.

Пусть $n(\text{NaHCO}_3) = x$ моль в исходной смеси, тогда $n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = (0.15-x)$ моль.

Значит $m(\text{NaHCO}_3) = 84x$ г, $m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 286(0.15-x)$ г.

Составим уравнение: $84x + 286(0.15-x) = 32.8$. Отсюда $x = 0.05$.

Итак, $n(\text{NaHCO}_3) = 0.05$ моль, $m(\text{NaHCO}_3) = 0.05 \cdot 84 = 4.2$ г.

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0.1 \cdot 286 = 28.6$ г. В сумме масса солей 32.8 г, как и должно быть.

Массовая доля $\omega(\text{NaHCO}_3) = 4.2/32.8 = 0.128$ (12.8%).

Получение соды:



затем NaHCO_3 кальцинируют при 140°C :



Регенерируют NH_3 действием извести: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За 7 уравнений реакций по 2 б. | 14 б. |
| 2. За заключение о полном расходовании двух солей | 2 б. |
| 3. За определение $n(\text{CO}_2) = 0.15$ моль. | 2 б. |
| 4. За определение $\omega(\text{NaHCO}_3) = 0.128$ (12.8%). | 7 б. |
| Всего | 25 б |