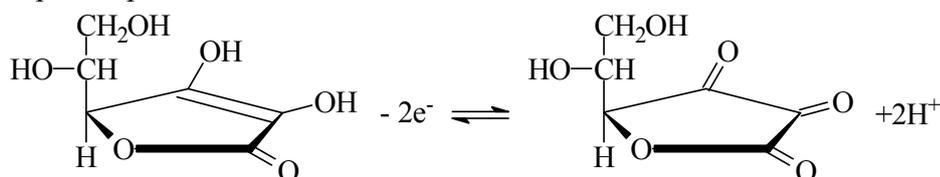


БИБН 2021-22
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ»
ОЧНЫЙ ФИНАЛЬНЫЙ ТУР
(13 февраля 2022 года)
11 класс

Задача 11-1

Аскорбиновая кислота – это органическое соединение с формулой $C_6H_8O_6$, она необходима для нормальной жизнедеятельности человека. В химических реакциях ее можно окислить до дегидроаскорбиновой кислоты.



Для определения содержания аскорбиновой кислоты две таблетки препарата «Витамин С» измельчили и растворили в воде. После отделения вспомогательных веществ раствор количественно перенесли в мерную колбу и довели его объем водой до 100 мл. Для определения аскорбиновой кислоты к 10 мл полученного раствора добавили 5 мл раствора серной кислоты (2 моль/л), 20 мл раствора йода с концентрацией 0.05 моль/л и оставили для полного протекания реакции на 5 минут. На связывание избытка йода потребовалось 9.0 мл раствора тиосульфата натрия с концентрацией 0.1 моль/л.

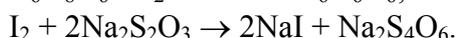
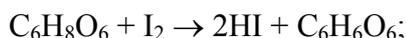
1. Напишите уравнения протекающих реакций, если известно, что одним из продуктов реакции является тетрагидрат натрия.

2. Вычислите массу аскорбиновой кислоты, содержащейся в одной таблетке «Витамина С».

3. Среднесуточная потребность в аскорбиновой кислоте составляет 75 мг. Мандарины содержат 22 мг аскорбиновой кислоты на каждые 100 г, массовая доля их несъедобной части составляет 26%. Какую массу мандаринов надо съесть человеку, чтобы удовлетворить суточную потребность в витамине С?

Решение

1.



2. К 10 мл раствора аскорбиновой кислоты прибавили 0.05 моль/л · 0.02 л = 0.001 моль йода I_2 . С тиосульфатом натрия прореагировало $(0.1 \text{ моль/л} \cdot 0.009 \text{ л}) / 2 = 0.00045$ моль йода. Следовательно, на взаимодействие с аскорбиновой кислотой потребовалось $0.001 - 0.00045 = 0.00055$ моль йода. Такое же количество аскорбиновой содержалось в 10 мл раствора, а в 100 мл содержалось $0.00055 \cdot 10 = 0.0055$ моль аскорбиновой кислоты массой $0.0055 \text{ моль} \cdot 176 \text{ г/моль} = 0.968 \text{ г}$. В одной таблетке содержится $0.968 / 2 = 0.484 \text{ г}$ или 484 мг аскорбиновой кислоты.

3. Для удовлетворения суточной дозы витамина С необходимо съесть $75 \cdot 100 / (22 \cdot 0.74) = 461 \text{ г}$.

Разбалловка:

За написание уравнений реакций (по 5 б)

10 б

За расчет массы аскорбиновой кислоты в одной таблетке

10 б

За расчет массы мандаринов

5 б

Итого 25 баллов

Задача 11-2

Три бинарных соединения **X**, **Y** и **Z** содержат один и тот же химический элемент. Массовая доля этого элемента во всех соединениях одинакова и равна 12.5%. Соединение **X** является твердым и при нагревании разлагается. Соединение **Y** представляет собой жидкость с температурой кипения 114°C. Соединение **Z** – бесцветный газ, который проявляет сильные восстановительные свойства и при окислении кислородом образует распространенное твердое вещество. Плотность газообразной смеси соединений **Y** и **Z** не зависит от отношения их парциальных давлений.

1. Определите соединения **X-Z**. Ответ поясните и подтвердите соответствующими расчетами.

2. Напишите для каждого из соединений **X-Z** по два уравнения реакции, которые характеризуют их химические свойства.

3. Предложите по одному способу получения соединений **X-Z**.

При решении молярные массы атомов элементов округляйте до целых чисел.

Решение

1. Легко догадаться, что элементом, общим для всех трех соединений, является водород, поскольку в соединениях на него приходится всего 12.5% массы. Установим природу второго элемента Э в каждом из соединений. В зависимости от его валентности n элементарную формулу соединения можно представить в виде ЭH_n . С учетом этого можно записать:

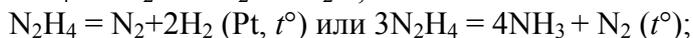
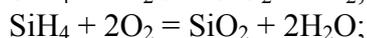
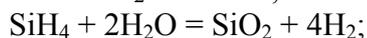
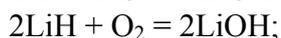
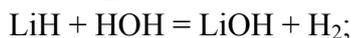
$$M(\text{Э}) \cdot \frac{12.5}{87.5} = n;$$

Отсюда	$n = 1, M(\text{Э}) = 7$	Э – Li(I)	формульная единица	LiH
	$n = 2, M(\text{Э}) = 14$	Э – N(II)	формульная единица	NH ₂
	$n = 3, M(\text{Э}) = 21$	Э – нет		
	$n = 4, M(\text{Э}) = 28$	Э – Si(IV)	формульная единица	SiH ₄
	$n = 5, M(\text{Э}) = 35$	Э – нет		
	$n = 6, M(\text{Э}) = 42$	Э – нет		
	$n = 7, M(\text{Э}) = 49$	Э – нет		

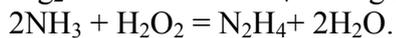
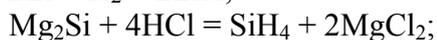
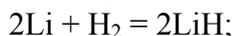
Соединение **X** – это гидрид лития LiH, так как только оно является твердым.

Плотность смеси газов **Y** и **Z** не зависит от отношения их парциальных давлений. Это означает, что их молярные массы одинаковы. Тогда **Y** – N₂H₄, **Z** – SiH₄ (при окислении образует SiO₂).

2.



3.



Разбалловка:

За установление формул соединений по 2 балла

6 б

За объяснение

1 б

За уравнения реакций по 2 б

18 б

Итого 25 баллов

Задача 11-3

Вещество А сгорает с образованием только воды и CO_2 . Массовые доли углерода и водорода в нем отличаются ровно на порядок. Вещество А восстанавливается избытком водорода (Pt, t°) до продукта $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$; избытком литийалюминийгидрида (с последующим гидролизом разбавленной HCl) до $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$; избытком натрийборгидрида (с последующим гидролизом разбавленной HCl) до $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$. Вещество А легко ($20-50^\circ\text{C}$) окисляется перманганатом калия в нейтральной среде; аммиачным раствором оксида серебра. Озонолиз вещества А с последующим гидролизом приводит к двум органическим продуктам, один из которых метаналь. Длительное нагревание жидкого А в присутствии малых количеств (0.5%) пероксида водорода приводит к твердому прозрачному продукту. Напишите уравнения указанных реакций и структурные формулы исходного А и всех органических продуктов. Учтите, что все кратные связи в молекуле А образуют единую цепь π - π сопряжения.

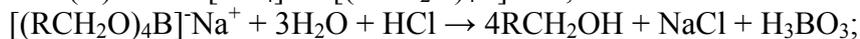
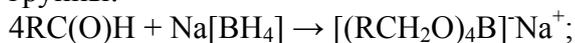
Решение

По результатам 3 реакций восстановления можно сделать вывод, что молекула А включает 5 атомов углерода, 2 атома кислорода и водород. Моль вещества А содержит 60 г углерода, значит водорода в 10 раз меньше, то есть 6 г. Формула А – $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$. Описанные свойства свидетельствуют о наличии альдегидной, кетонной и алкеновой групп, объединенных единой цепью π - π сопряжения. Озонолиз дает метаналь, значит имеется концевая алкеновая группа $\text{H}_2\text{C}=\text{C}<$.

Структурная формула вещества А: $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})-\text{C}(\text{=CH}_2)-\text{C}(\text{O})\text{H}$ (2-ацетилпропеналь).

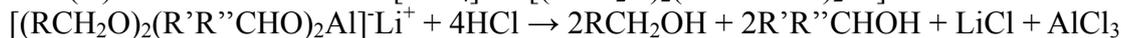
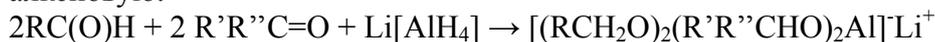
Водород (Pt, t°) гидрирует все кратные связи (алкеновую, альдегидную, кетонную):
 $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})-\text{C}(\text{=CH}_2)-\text{C}(\text{O})\text{H} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2\text{OH}$.

Натрийборгидрид гидрирует альдегидную, не затрагивая кетонную и алкеновую группы:



где $\text{R} = \text{C}(\text{CH}_2)-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$.

Литийалюминийгидрид гидрирует альдегидную и кетонную группу, не затрагивая алкеновую:



где $\text{RC}(\text{O})\text{H}$ и $\text{R}'\text{R}''\text{C}=\text{O}$ – альдегидная и кетонная группы в составе вещества А.

Перманганат калия в мягких условиях ($20-50^\circ\text{C}$) окисляет алкеновую и альдегидную группы:



В реакцию серебряного зеркала ($20-50^\circ\text{C}$) вступает только альдегидная группа:



Озонолиз расщепляет $>\text{C}=\text{C}<$ группу, и по месту разрыва образуются две $>\text{C}=\text{O}$ группы:



Пероксид водорода – радикальный инициатор полимеризации мономера А с образованием твердого полимера.



Другие варианты изомеров $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$, содержащих $>\text{C}=\text{C}<$, $\text{C}(\text{O})\text{H}$, $>\text{C}=\text{O}$, не подходят по условиям задачи: $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHC}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{H}$, $\text{CH}_2=\text{CHC}(\text{O})\text{CH}_2\text{C}(\text{O})\text{H}$, $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{C}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{H}$, $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})-\text{CH}=\text{CH}-\text{C}(\text{O})\text{H}$.

Разбалловка

За вывод брутто-формулы вещества А $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_2$

26

За структурную формулу вещества А $\text{CH}_3\text{C}(\text{O})-\text{C}(\text{=CH}_2)-\text{C}(\text{O})\text{H}$

26

За ур. 7 реакций с верными структурными формулами А и продуктов по 3б

216

Задача 11-4

Смесь бутадиена-1,3 с водородом (75% водорода по объему) нагрели над некоторым катализатором в замкнутом сосуде. При этом 28.571% бутадиена осталось непрореагировавшим. Объем смеси уменьшился на 28.571% (при той же температуре). Определить состав конечной смеси в мольных процентах.

Решение

Поскольку катализатор гидрирования не указан, предположим 3 возможных варианта.

Вариант №1. Бутадиен гидрируется сразу до бутана.

	2H_2	+	C_4H_6	\rightarrow	C_4H_{10}
Было:	0.75		0.25		0
Прореагировало:	2x		x		-
Выделилось:	-		-		x
Стало:	0.75-2x		0.25-x		x

Количество газов до реакции (было): 1 моль

Количество газов после реакции (стало): 1-2x моль

По условию задачи объем уменьшился на 28.571% при той же температуре и подразумевается при том же давлении. Значит из 1 моля исходной смеси образовалось 0.71429 моль продуктов.

Получаем уравнение №1: $0.71429=1-2x$, отсюда: $0.28571=2x$, $x=0.14286$

По условию задачи бутадиена стало 28.571% от исходного.

Это составляет $0.28571 \cdot 0.25=0.071428$ моль.

Получаем уравнение №2: $0.071428=0.25-x$ отсюда: $x=0.178572$, это противоречит решению уравнения №1. Следовательно, вариант №1 ошибочный.

Вариант №2. Бутадиен гидрируется лишь до бутенов.

	H_2	+	C_4H_6	\rightarrow	C_4H_8
Было:	0.75		0.25		0
Прореагировало:	x		x		-
Выделилось:	-		-		x
Стало:	0.75-x		0.25-x		x

Количество газов до реакции (было): 1 моль

Количество газов после реакции (стало): 1-x моль

По условию задачи объем уменьшился на 28.571%. Значит из 1 моля исходной смеси образовалось 0.71429 моль продуктов.

Получаем уравнение №1: $0.71429=1-x$, отсюда: $x=0.28571$

По условию задачи бутадиена стало 28.571% от исходного.

Это составляет $0.28571 \cdot 0.25=0.071428$ моль.

Получаем уравнение №2: $0.071428=0.25-x$ отсюда: $x=0.178572$, это противоречит решению уравнения №1. Следовательно, вариант №2 тоже ошибочный.

Вариант №3. Бутадиен гидрируется до смеси бутана и бутенов (бутен-1 или цис-бутен-2 или транс-бутен-2).

$2\text{H}_2 + \text{C}_4\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}$ и $\text{H}_2 + \text{C}_4\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8$ Представим их одной схемой:

	2H_2	+	C_4H_6	\rightarrow	C_4H_8	+	C_4H_{10}
Было:	0.75		0.25		0		0
Прореагировало:	x+2y		x+y		-		-
Выделилось:	-		-		x		y

Стало: $0.75-x-2y$ $0.25-x-y$ x y

Количество газов до реакции (было): 1 моль

Количество газов после реакции (стало): $1-x-2y$ моль

По условию задачи объем уменьшился на 28.571%. Значит из 1 моля исходной смеси образовалось 0.71429 моль продуктов.

Получаем уравнение №1: $0.71429=1-x-2y$ или: **$0.28571=x+2y$**

По условию задачи бутадиена стало 28.571% от исходного.

Это составляет $0.28571 \cdot 0.25=0.071428$ моль.

Получаем уравнение №2: $0.071428=0.25-x-y$ или: **$0.178572=x+y$**

Решаем систему полученных двух уравнений и находим неизвестные x и y :

$y=0.28571-0.178572=0.107138$ $x=0.178572-0.107138=0.071434$

Общее количество продуктов равно: $1-x-2y=1-0.071434-0.21428=0.71429$ моль

Состав конечной смеси:

$n(\text{H}_2)=0.75-x-2y=0.75-0.071434-0.21428=0.46429$ моль. $\chi(\text{H}_2)=0.46429/0.71429=0.65$ (65%).

$n(\text{бутана})=0.10714$ моль. $\chi(\text{бутана})=0.10714/0.71429=0.15$ (15%).

$n(\text{смеси бутенов})=0.071434$ моль. Мольная доля $\chi(\text{C}_4\text{H}_8)=0.071434/0.71429=0.1$ (10%).

$n(\text{C}_4\text{H}_6)=0.071428$ моль. $\chi(\text{C}_4\text{H}_6)=0.071428/0.71429=0.1$ (10%).

Ответ: В состав продуктов входят водород (65%), бутан (15%), смесь бутенов (10%) и бутадиен (10%). Всего 100%. Возможные изомеры бутена: бутен-1 или цис-бутен-2 или транс-бутен-2.

Разбалловка

За 2 уравнения гидрирования C_4H_6 до C_4H_8 и C_4H_{10} по 2 б

4 б

За определение H_2 (65%), C_4H_{10} (15%), C_4H_8 (10%), C_4H_6 (10%) по 4 б

16 б

За анализ возможности гидрирования только до C_4H_{10} , только до C_4H_8 по 2 б

4 б

За указание возможных изомеров бутена

1 б

Итого 25 баллов

БИБН 2021-22
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ»
ОЧНЫЙ ФИНАЛЬНЫЙ ТУР

(13 ФЕВРАЛЯ 2022 года)

10 класс

Задача 10-1

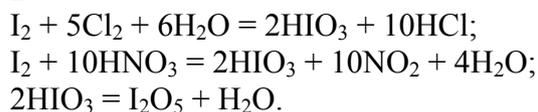
Вещество А является кислотой и представляет собой легкорастворимые бесцветные кристаллы, расплывающиеся на воздухе. Эту кислоту можно получить действием хлора на суспензию йода в воде при нагревании (способ 1) или взаимодействием йода с горячей концентрированной азотной кислотой (способ 2). При нагревании А до 250°C образуется белый кристаллический порошок соответствующего ангидрида кислоты А.

1. О каком веществе идет речь? Поясните свой ответ.
2. Запишите уравнения протекающих реакций.
3. Рассчитайте объем хлора (давление 101325 Па, температура 305 К), необходимого для получения 5.00 г вещества А первым способом. Выход реакции составляет 87%, йод находится в избытке.
4. Какая масса йода необходима для получения 7.00 г ангидрида кислоты А, если кислоту получают вторым способом? Выход реакции на стадии получения кислоты составляет 84%, на стадии синтеза ангидрида – 80%.

Решение

1. Исходя из условия задачи, можно сделать вывод, что речь идет о кислотах с общей формулой HIO_x . Из таких кислот известны HIO , HIO_3 и HIO_4 . HIO не подходит, поскольку существует только в растворах. HIO_4 можно выделить из раствора в виде бесцветных кристаллов $\text{HIO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, но подходящий ангидрид неизвестен. Следовательно, А – HIO_3 , а ангидрид – I_2O_5 .

2.



3.

$$n(\text{HIO}_3) = \frac{5 \text{ г}}{176 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0.0284 \text{ моль}; \quad n(\text{Cl}_2)_{(\text{теор})} = \frac{0.0284 \text{ моль} \cdot 5}{2} = 0.071 \text{ моль};$$

$$n(\text{Cl}_2)_{(\text{практ})} = \frac{0.071 \text{ моль}}{0.87} = 0.0816 \text{ моль};$$

$$V(\text{Cl}_2) = \frac{nRT}{P} = \frac{0.0816 \text{ моль} \cdot 8.314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 305 \text{ К}}{101325 \text{ Па}} = 0.002 \text{ м}^3 = 2 \text{ л}.$$

4.

$$n(\text{HIO}_3)_{(\text{теор})} = 0.021 \text{ моль} \cdot 2 = 0.042 \text{ моль};$$

;

;

$$m(\text{I}_2) = 0.03125 \text{ моль} \cdot 254 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 7.94 \text{ г}.$$

Разбалловка:

За установление вещества А	6 б
За написание уравнений реакций по 3 б	9 б
За расчет объема хлора	5 б
За расчет массы йода	5 б

Итого 25 баллов

Задача 10-2

Титриметрия – это классический метод анализа, широко используемый в химии. В этом методе к известному объему анализируемого раствора небольшими порциями приливают раствор реагента известной концентрации, то есть титруют. Процесс титрования заканчивают в тот момент, когда количество прилитого реагента становится эквивалентным количеству определяемого вещества. Этот момент называют точкой эквивалентности и фиксируют с помощью специально подобранного индикатора. Индикатор подбирают таким образом, чтобы он изменял свою окраску при кислотности, соответствующей кислотности раствора в точке эквивалентности. Наиболее распространенными индикаторами в кислотно-основном титровании являются фенолфталеин, который изменяет свою окраску в слабощелочной среде, и метиловый оранжевый, который изменяет окраску в слабокислой среде.

Анализируемая смесь содержит в своем составе ацетальдегид, этилацетат и некоторые другие вещества. Пробу этой смеси объемом 10.00 мл смешали с 20.00 мл 0.05 моль/л раствора щелочи и 60 мл водного раствора пероксида водорода (избыток), прокипятили в колбе с обратным холодильником в течение 30 минут и охладили. На титрование полученного раствора с фенолфталеином потребовалось 12.10 мл 0.05 моль/л раствора HCl. Вторую пробу исходной смеси объемом 50 мл подвергли реакции серебряного зеркала, масса полученного при этом осадка составила 221 мг.

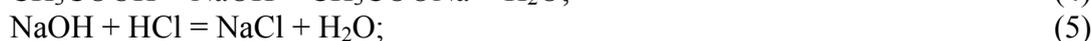
1. Напишите уравнения протекающих реакций. Рассчитайте массовые доли ацетальдегида и этилацетата в пробе, если плотность анализируемой смеси 0.9 г/мл.

2. Какие вещества содержатся в растворе в момент окончания титрования? Как изменился бы состав раствора, если бы вместо фенолфталеина в качестве индикатора при титровании использовали метиловый оранжевый? Ответ поясните.

При расчете учтите, что другие вещества исходной смеси остаются химически инертными во всех изложенных экспериментах. Все изложенные в условии реакции протекают количественно (необратимо).

Решение

1. Уравнения реакций:



Количество NaOH, добавленного к анализируемой пробе объемом 10 мл:

$$n(\text{NaOH}) = 20 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot 0.05 \text{ моль/л} = 0.001 \text{ моль}.$$

Количество NaOH, оттитрованного HCl:

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = 12.1 \cdot 10^{-3} \text{ л} \cdot 0.05 \text{ моль/л} = 0.000605 \text{ моль}.$$

Количество NaOH, прореагировавшего с $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ и CH_3COOH (CH_3CHO) в пробе 10 мл:

$$n(\text{NaOH}) = 0.001 - 0.000605 = 0.000395 \text{ моль}.$$

Общее количество ацетальдегида и этилацетата в пробе объемом 10 мл:

$$n(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) + n(\text{CH}_3\text{CHO}) = 0.000395 \text{ моль}.$$

Количество ацетальдегида в 50 мл смеси:

$$n(\text{CH}_3\text{CHO в 50 мл}) = 0.5 \cdot n(\text{Ag}) = 0.5 \cdot 0.221 / 107.9 = 0.001024 \text{ моль}$$

Количество ацетальдегида в 10 мл смеси:

$$n(\text{CH}_3\text{CHO}) = n(\text{CH}_3\text{CHO в 50 мл}) / 5 = 0.000205 \text{ моль.}$$

Количество этилацетата в 10 мл смеси:

$$n(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0.000395 - 0.000205 = 0.00019 \text{ моль.}$$

Массы ацетальдегида и этилацетата в пробе объемом 10 мл:

$$m(\text{CH}_3\text{CHO}) = 0.000205 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} = 0.00902 \text{ г};$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0.00019 \text{ моль} \cdot 88 \text{ г/моль} = 0.01672 \text{ г.}$$

Масса 10 мл пробы:

$$m(\text{пробы}) = 10 \text{ мл} \cdot 0.9 \text{ г/мл} = 9 \text{ г.}$$

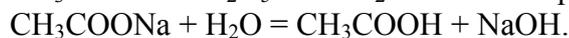
Массовые доли:

$$\omega(\text{CH}_3\text{CHO}) = 0.00902 \text{ г} / 9 \text{ г} = 0.001002 \text{ или } \approx 0.1\%;$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5) = 0.01672 \text{ г} / 9 \text{ г} = 0.001858 \text{ или } \approx 0.19\%.$$

2. В момент окончания титрования с фенолфталеином в растворе находятся следующие вещества:

$\text{CH}_3\text{COONa} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$ – среда слабощелочная из-за гидролиза CH_3COONa :



(В растворе также присутствует небольшое количество продуктов гидролиза CH_3COONa).

Если титрование проводить с метиловым оранжевым, то после оттитровывания NaOH начнет титроваться CH_3COONa :

$\text{CH}_3\text{COONa} + \text{HCl} = \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaCl}$ – в точке эквивалентности среда слабокислая из-за присутствия CH_3COOH (эта точка эквивалентности фиксируется метиловым оранжевым).

При титровании с метиловым оранжевым в момент окончания реакции в растворе будут следующие вещества:



Разбалловка:

За уравнения реакций (3) и (5) в п. 1	1 б·2 = 2 б
За уравнения реакций (1), (2), (4) и (6) в п. 1	2 б·4 = 8 б
За расчет массовой доли ацетальдегида и этилацетата	4 б·2 = 8 б
За указания состава раствора в момент окончания титрования с фенолфталеином	2 б
За указания состава раствора при использовании метилоранжа	2 б
За пояснение состава раствора при использовании разных индикаторов	3 б

Итого 25 баллов

Задача 10-3

Кристаллогидрат некоторой соли с одной молекулой кристаллизационной воды содержит 39.51% кислорода по массе. Насыщенный водный раствор этой соли разделили на три части. Первую часть обработали концентрированным раствором щелочи и нагрели до кипения, выделившийся бесцветный газ изменил цвет водного раствора лакмуса на синий. При смешивании этого газа с газообразным HBr при комнатной температуре выпадает твердый продукт с массовыми долями водорода 5.36% и брома 71.43%.

Вторую часть обработали концентрированной соляной кислотой. Выделившийся бесцветный газ вызывает помутнение известковой воды; не горит; вызывает изменение окраски щелочного (KOH) раствора перманганата калия в зеленый цвет.

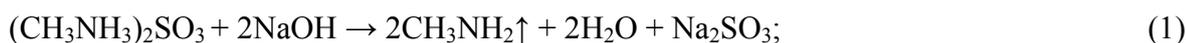
Третью часть выпарили и белый остаток прокалили при высокой температуре, после чего стакан оказался пустым.

Определите состав соли. Приведите краткие пояснения, напишите уравнения реакций.

Решение

Анализируемая соль – моногидрат сульфита метиламмония $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

При нагревании со щелочью выделяется газ метиламин, водный раствор которого аналогично NH_3 имеет щелочную среду. При действии HBr дает соль бромид метиламмония $\text{CH}_3\text{NH}_3^+ \text{Br}^-$.



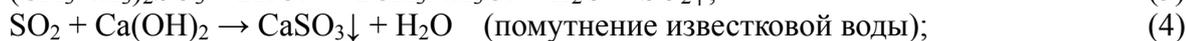
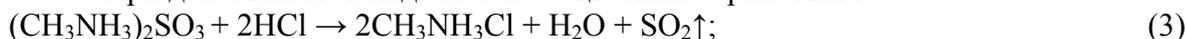
По массовой доле брома определяем молярную массу бромида: $80/0.7143 = 112$ г/моль.

По содержанию водорода определяем наличие 6 атомов H в молекуле бромида:

$$112 \cdot 0.0536 = 6.$$

Оставшаяся масса $112 - 80 - 6 = 26$ г/моль приходится на атомы S и N.

При действии HCl выделяется бесцветный сернистый газ:

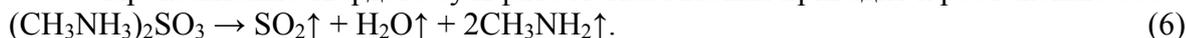


Нельзя предположить вместо сульфита карбонат, так как он бы при действии HCl выделил CO_2 , который не дал бы цветную реакцию с перманганатом.

Нельзя предположить место сульфита сульфид, так как он бы выделил H_2S , который является горючим газом.

Нельзя предположить нитрит аммония NH_4NO_2 , так как он бы дал смесь неокрашенного NO и окрашенного NO_2 .

Прокаливание твердого сульфита метиламмония приводит к разложению без остатка:



Содержание кислорода подтверждает состав кристаллогидрата $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$:
 $\omega(\text{O}) = 64/162 = 0.3951$ (39.51%).

Гидросульфит метиламмония $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{HSO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, который дал бы те же самые качественные реакции, не подходит, так как у него была бы $\omega(\text{O}) = 64/131 = 0.4885$ (48.85%).

Разбалловка

За определение формулы $(\text{CH}_3\text{NH}_3)_2\text{SO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	4 б
За определение сульфит аниона	3 б
За 2 уравнения реакций №4,5 по 3 б	6 б

За 4 уравнения реакций 1,2,3,6 по 3 б

12 б

Итого 25 баллов

Задача 10-4

Смесь бутадиена-1,3 с водородом (75% водорода по объему) нагрели над некоторым катализатором в замкнутом сосуде. При этом 28.571% бутадиена осталось непрореагировавшим. Объем смеси уменьшился на 28.571% (при той же температуре). Определить состав конечной смеси в мольных процентах.

Решение

Поскольку катализатор гидрирования не указан, предположим 3 возможных варианта.

Вариант №1. Бутадиен гидрируется сразу до бутана.

	2H_2	+	C_4H_6	\rightarrow	C_4H_{10}
Было:	0.75		0.25		0
Прореагировало:	2x		x		-
Выделилось:	-		-		x
Стало:	0.75-2x		0.25-x		x

Количество газов до реакции (было): 1 моль

Количество газов после реакции (стало): 1-2x моль

По условию задачи объем уменьшился на 28.571% при той же температура и подразумевается при том же давлении. Значит из 1 моля исходной смеси образовалось 0.71429 моль продуктов.

Получаем уравнение №1: $0.71429=1-2x$, отсюда: $0.28571=2x$, $x=0.14286$

По условию задачи бутадиена стало 28.571% от исходного.

Это составляет $0.28571 \cdot 0.25=0.071428$ моль.

Получаем уравнение №2: $0.071428=0.25-x$ отсюда: $x=0.178572$, это противоречит решению уравнения №1. Следовательно, вариант №1 ошибочный.

Вариант №2. Бутадиен гидрируется лишь до бутенов.

	H_2	+	C_4H_6	\rightarrow	C_4H_8
Было:	0.75		0.25		0
Прореагировало:	x		x		-
Выделилось:	-		-		x
Стало:	0.75-x		0.25-x		x

Количество газов до реакции (было): 1 моль

Количество газов после реакции (стало): 1-x моль

По условию задачи объем уменьшился на 28.571%. Значит из 1 моля исходной смеси образовалось 0.71429 моль продуктов.

Получаем уравнение №1: $0.71429=1-x$, отсюда: $x=0.28571$

По условию задачи бутадиена стало 28.571% от исходного.

Это составляет $0.28571 \cdot 0.25=0.071428$ моль.

Получаем уравнение №2: $0.071428=0.25-x$ отсюда: $x=0.178572$, это противоречит решению уравнения №1. Следовательно, вариант №2 тоже ошибочный.

Вариант №3. Бутадиен гидрируется до смеси бутана и бутенов (бутен-1 или цис-бутен-2 или транс-бутен-2).

$2\text{H}_2 + \text{C}_4\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}$ и $\text{H}_2 + \text{C}_4\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_8$ Представим их одной схемой:

	H_2	+	C_4H_6	\rightarrow	C_4H_8	+	C_4H_{10}
Было:	0.75		0.25		0		0
Прореагировало:	x+2y		x+y		-		-

Выделилось:	-	-	x	y
Стало:	0.75-x-2y	0.25-x-y	x	y

Количество газов до реакции (было): 1 моль

Количество газов после реакции (стало): 1-x-2y моль

По условию задачи объем уменьшился на 28.571%. Значит из 1 моля исходной смеси образовалось 0.71429 моль продуктов.

Получаем уравнение №1: $0.71429=1-x-2y$ или: $0.28571=x+2y$

По условию задачи бутадиена стало 28.571% от исходного.

Это составляет $0.28571 \cdot 0.25=0.071428$ моль.

Получаем уравнение №2: $0.071428=0.25-x-y$ или: $0.178572=x+y$

Решаем систему полученных двух уравнений и находим неизвестные x и y:

$y=0.28571-0.178572=0.107138$ $x=0.178572-0.107138=0.071434$

Общее количество продуктов равно: $1-x-2y=1-0.071434-0.21428=0.71429$ моль

Состав конечной смеси:

$n(\text{H}_2)=0.75-x-2y=0.75-0.071434-0.21428=0.46429$ моль. $\chi(\text{H}_2)=0.46429/0.71429=0.65$ (65%).

$n(\text{бутана})=0.10714$ моль. $\chi(\text{бутана})=0.10714/0.71429=0.15$ (15%).

$n(\text{смеси бутенов})=0.071434$ моль. Мольная доля $\chi(\text{C}_4\text{H}_8)=0.071434/0.71429=0.1$ (10%).

$n(\text{C}_4\text{H}_6)=0.071428$ моль. $\chi(\text{C}_4\text{H}_6)=0.071428/0.71429=0.1$ (10%).

Ответ: В состав продуктов входят водород (65%), бутан (15%), смесь бутенов (10%) и бутадиен (10%). Возможные изомеры бутена: бутен-1 или цис-бутен-2 или транс-бутен-2.

Разбалловка

За 2 уравнения гидрирования C_4H_6 до C_4H_8 и C_4H_{10} по 2 б	4 б
За определение H_2 (65%), C_4H_{10} (15%), C_4H_8 (10%), C_4H_6 (10%) по 4 б	16 б
За анализ возможности гидрирования только до C_4H_{10} , только до C_4H_8 по 2 б	4 б
За указание возможных изомеров бутена	1 б

Итого 25 баллов

БИБН 2021-22
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ»
ОЧНЫЙ ФИНАЛЬНЫЙ ТУР
(13 февраля 2022 года)
9 класс

Задача 9-1

Живые организмы в течение длительной эволюции приспособились к различным условиям существования. Одним из самых интересных и наименее исследованных на данный момент остается водный мир. В воде присутствуют те же газы, что и в воздухе, но в другом соотношении. Растворимость газов в воде и их давление над раствором связаны между собой законом Генри: молярная концентрация растворенного газа прямо пропорциональна его парциальному давлению. Именно наличие растворенных газов в воде и позволяет существовать живым организмам в водной среде. Информация о растворимости основных компонентов воздуха в воде при парциальном давлении соответствующего газа 1 атм и температуре окружающей среды 0°C приведена ниже (указан объем газа в мл, который поглощается 1 л дистиллированной воды):

Газ	Растворимость
Азот	42
Аргон	102
Углекислый газ	1712
Кислород	53

1. Рассчитайте содержание углекислого газа в атмосфере (в мольных и массовых долях), если при нормальных условиях массовая доля растворенного углекислого газа составляет 0.0001%.

2. Предложите состав газовой смеси (в мольных долях), которая состоит из четырех основных компонентов воздуха, если при ее растворении в чистой воде образуется раствор, в котором массовые доли этих газов равны между собой.

Среднюю молярную массу воздуха считайте равной 29 г/моль.

Решение

1. Вычислим молярную концентрацию углекислого газа в насыщенном растворе.

Эта концентрация углекислого газа в растворе создается при его парциальном давлении 1 атм.

Молярная концентрация углекислого газа в рассматриваемом растворе:

Эта концентрация создается давлением $2.27 \cdot 10^{-3} / 0.0764 = 0.000297$ атм.

Молярная доля углекислого газа в атмосфере составляет:

$$\frac{0.000297 \text{ атм}}{1 \text{ атм}} = 0.000297 \text{ или } 0.0297\%$$

Массовая доля углекислого газа в атмосфере составляет:

2. Вычислим молярную концентрацию каждого газа в насыщенном растворе.

;
;
;
;
;

Допустим, что в 1 л воды растворено по 0.001 г каждого газа. Найдем молярную концентрацию каждого газа в таком растворе.

;
;
;
;
;
.

Для создания такой концентрации газов необходимо следующее парциальное давление каждого газа:

$$p(\text{N}_2) = \frac{3.57 \cdot 10^{-5}}{0.00188} = 0.0190 \text{ атм} ;$$

$$p(\text{Ar}) = \frac{2.5 \cdot 10^{-5}}{0.00455} = 0.0055 \text{ атм} ;$$

$$p(\text{CO}_2) = \frac{2.27 \cdot 10^{-5}}{0.0764} = 0.0003 \text{ атм} ;$$

$$p(\text{O}_2) = \frac{3.13 \cdot 10^{-5}}{0.00237} = 0.0132 \text{ атм} ;$$

.

Мольная доля каждого газа составляет:

$$; \quad p(\text{Ar}) = 0.0027/0.038 = 0.1443 ;$$

;

Разбалловка:

За расчет мольной доли углекислого газа

6 б

За расчет массовой доли углекислого газа

7 б

За расчет мольных долей газов

3·4= 12 б

Итого 25 баллов

Задача 9-2

В таблице приведена растворимость оксида бария в воде при разной температуре:

Температура, °С	0	20	50	80
Растворимость, г на 100 г воды	1.5	3.84	11.75	90.8

При охлаждении насыщенного при 80°С раствора до более низкой температуры в осадок выпадает только продукт **X** (массовые доли: $\omega(\text{Ba}) = 43.49\%$, $\omega(\text{O}) = 50.79\%$).

1. Установите формулу **X**. Ответ подтвердите соответствующими расчетами.
2. Вычислите растворимость $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и **X** в г на 100 г воды при 0°С, 20°С, 50°С, 80°С.
3. Какая масса **X** образуется при охлаждении 100 г насыщенного раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$ от 70°С до 10°С?

При расчете примите, что температурная зависимость растворимости $\text{Ba}(\text{OH})_2$ от 0°С до 30°С и от 50°С до 90°С является линейной.

Решение

1.

$$\frac{\omega(\text{Ba})}{M(\text{Ba})} : \frac{\omega(\text{O})}{M(\text{O})} : \frac{\omega(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{43.49}{137} : \frac{50.79}{16} : \frac{100 - 43.49 - 50.79}{1} = 0.3174 : 3.1743 : 5.72 = 1 : 10 : 18$$

$\text{BaO}_{10}\text{H}_{18}$ или $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

2. При растворении оксида бария в воде образуется гидроксид: $\text{BaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ba}(\text{OH})_2$, поэтому часть воды переходит в состав гидроксида бария.

Рассмотрим пример расчета для температуры 20°С.

$$n(\text{BaO}) = \frac{m(\text{BaO})}{M(\text{BaO})} = \frac{3.84 \text{ г}}{153 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0.0251 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 0.0251 \text{ моль}; \quad m(\text{H}_2\text{O}) = 0.0251 \text{ моль} \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 0.452 \text{ г};$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0.0251 \text{ моль} \cdot 171 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 4.291 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 0.452 \text{ г} = 99.548 \text{ г};$$

$$\frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2) \cdot 100}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{4.291 \cdot 100}{99.548} = 4.31 \text{ г} \quad \text{— растворимость } \text{Ba}(\text{OH})_2 \text{ в } 100 \text{ г воды.}$$

Для $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 0.0251 \cdot 9 = 0.2259 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}) = 0.0251 \text{ моль} \cdot 315 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 7.9065 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 4.066 \text{ г} = 95.934 \text{ г};$$

$$\frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}) \cdot 100}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{7.9065 \cdot 100}{95.934} = 8.24 \text{ г} \quad \text{— растворимость } \text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O} \text{ в } 100 \text{ г воды.}$$

В целом расчет можно проводить по следующей общей формуле:

$$100 \cdot \frac{\frac{m(\text{BaO в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O})}{M(\text{BaO})} \cdot M(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{100 - \frac{m(\text{BaO в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O})}{M(\text{BaO})} \cdot M(\text{H}_2\text{O})} \quad \text{— растворимость } \text{Ba}(\text{OH})_2 \text{ в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O};$$

– растворимость $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в 100 г H_2O .

Результаты:

Температура, °C	0	20	50	80
Растворимость $\text{Ba}(\text{OH})_2$, г на 100 г воды	1.68	4.31	13.32	113.62
Растворимость $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, г на 100 г воды	3.14	8.24	27.63	> 200, нельзя точно установить

3. Воспользуемся линейностью зависимости растворимости $\text{Ba}(\text{OH})_2$ от 0°C до 30°C и от 50°C до 90°C:

$$S(10^\circ\text{C}) = (1.68 + 4.31) / 2 = 3.0 \text{ г} / 100 \text{ г воды};$$

$$\omega(10^\circ\text{C}) = 3/103 = 0.0291;$$

$$S(70^\circ\text{C}) = 113.62 - (113.62 - 13.32) / 3 = 80.2 \text{ г} / 100 \text{ г воды};$$

$$\omega(70^\circ\text{C}) = 80.2/180.2 = 0.445.$$

Массовая доля $\text{Ba}(\text{OH})_2$ в $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$:

$$\omega(\text{Ba}(\text{OH})_2)_X = \frac{M(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O})} = \frac{171}{315} = 0.543$$

Для 100 г исходного раствора составим выражение для массовой доли $\text{Ba}(\text{OH})_2$:

$$\frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2)_{10} - \omega(\text{Ba}(\text{OH})_2)_X \cdot m}{100 - m} = \omega(10^\circ\text{C}) \quad \frac{44.5 - 0.543 \cdot m}{100 - m} = 0.0291 ;$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}) = 80.93 \text{ г}.$$

Разбалловка:

За установление формулы X

7 б

За расчет растворимости $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

(по 1 б для каждого соединения для каждой температуры)

8 б

За расчет массы выпавшего осадка

10 б

Итого 25 баллов

Задача 9-3

Некоторая соль содержит 41.38% кислорода по массе. Насыщенный водный раствор этой соли разделили на три части. Первую часть обработали концентрированным раствором щелочи и нагрели до кипения, выделившийся бесцветный газ изменил цвет водного раствора лакмуса на синий.

Вторую часть обработали концентрированной соляной кислотой. Выделившийся бесцветный газ вызывает помутнение известковой воды; не горит; вызывает изменение фиолетовой окраски щелочного (KOH) раствора перманганата калия в зеленый цвет.

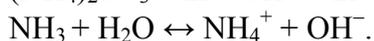
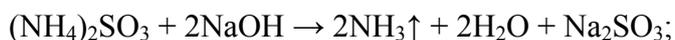
Третью часть выпарили и белый остаток прокалили при высокой температуре, после чего стакан оказался пустым.

Определите состав соли. Приведите краткие пояснения, напишите уравнения реакций.

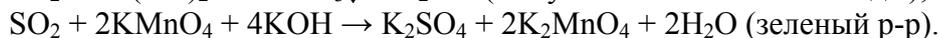
Решение

Анализируемая соль – сульфит аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$.

При нагревании со щелочью выделяется аммиак, водный раствор которого имеет щелочную среду и изменяет цвет лакмуса на синий.



При действии HCl выделяется бесцветный сернистый газ:

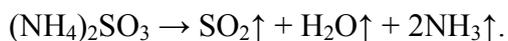


Нельзя было предположить карбонат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, но он бы выделил CO_2 , который не дал бы цветную реакцию с перманганатом.

Нельзя было предположить сульфид аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, но он бы выделил H_2S , который является горючим газом.

Нельзя было предположить нитрит аммония NH_4NO_2 , он бы дал смесь неокрашенного NO и окрашенного NO_2 .

Нагревание твердого сульфита аммония приводит к возгонке, либо к разложению без остатка:



Содержание кислорода подтверждает состав $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$:

$$\omega(\text{O}) = 48/116 = 0.4138 \quad (41.38\%).$$

Гидросульфит аммония NH_4HSO_3 , который дал бы те же самые качественные реакции, не подходит, так как у него $\omega(\text{O}) = 48/99 = 0.4848 \quad (48.48\%).$

Разбалловка

За определение формулы $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$

56

За 5 уравнений реакций по 46

206

Итого 25 баллов

Задача 9-4

Стальной замкнутый сосуд объемом 134.4 л разделен пополам непроницаемой перегородкой. В первом отсеке находится смесь гелия и фтороводорода с равными массовыми долями. Во втором – смесь гелия и фосфина с равными мольными долями. Условия в сосуде нормальные. Не открывая сосуд, открыли перегородку и дождалась прекращения выпадения осадка. Какие вещества, в каком агрегатном состоянии, в каком количестве будут находиться в конечном состоянии в сосуде? Какое давление стало в сосуде, если температура сохранилась?

Решение

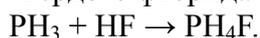
Определим количественный состав газов в первом отсеке.

$V_1 = 67.2$ л, значит $n(\text{He}) + n(\text{HF}) = 67.2/22.4 = 3$ моль. Пусть $m(\text{He}) = m(\text{HF}) = x$ (г). Тогда $x/4 + x/20 = 3$. Отсюда $x=10$. $n(\text{He}) = 2.5$ моль, $n(\text{HF}) = 0.5$ моль.

Определим количественный состав газов во втором отсеке.

$V_2=67.2$ л, значит $n(\text{He}) = n(\text{PH}_3) = 1.5$ моль.

Фосфин, являясь основанием подобно аммиаку, реагирует с HF с образованием твердого фторида фосфония PH_4F :



HF в недостатке, прореагирует полностью. Фосфин – в избытке.

Состав конечной смеси:

PH_3 газ, $n(\text{PH}_3) = 1.5 - 0.5 = 1$ моль.

He газ, $n(\text{He}) = 2.5 + 1.5 = 4$ моль.

PH_4F твердый $n(\text{PH}_4\text{F}) = 0.5$ моль.

Давление снизится, так как в замкнутом сосуде при постоянных температуре и объеме снижение количества газообразных веществ (было 6 моль, стало 5 моль) приведет к снижению давления. $P = 5/6 = 0.833$ атм (84383 Па).

Разбалловка

За уравнение	5 б
За указание на твердый продукт PH_4F (0.5 моль)	5 б
За указание на газы (1 моль PH_3 и 4 моль He) по 5б	10 б
За расчет $P = 0.833$ атм (84383 Па)	5 б

Итого 25 баллов

БИБН 2021-22
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ»
ОЧНЫЙ ОТБОРОЧНЫЙ ТУР
(13 февраля 2022 года)
8 класс

Задача 8-1

Распространенный в природе оксид неметалла А имеет огромное практическое значение и широко используется в хозяйстве. Юный химик проанализировал оксид А и установил, что массовая доля А в этом оксиде составляет $46 \pm 2\%$. Известно, что указанный оксид не реагирует с водой, а элемент А находится в 14-й группе Периодической системы элементов.

1. Установите формулу оксида. Ответ подтвердите соответствующими расчетами.
2. Напишите по одному уравнению реакции этого оксида с металлом, неметаллом, кислотой и солью. Укажите, где используются эти реакции.

Решение

1. Формулу оксида неметалла в общем виде можно записать как A_2O_n или $AO_{0.5n}$, где n – валентность неметалла. Установим формулу оксида А.

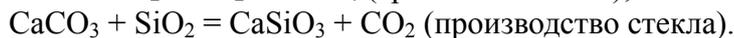
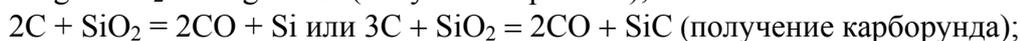
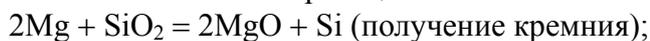
$$\frac{\omega(O)}{M(O)} : \frac{\omega(A)}{M(A)} = \frac{100 - 46}{16} : \frac{46}{M(A)} = 3.375 : \frac{46}{M(A)} = 0.5n$$

Отсюда:

$$M(A) = \frac{0.5 \cdot 46}{3.375} \cdot n = 6.815 \cdot n$$

Для $n = 4$ получаем $M(A) = 27.3$. С учетом погрешности анализа можно записать, что молярная масса А должна находиться в интервале (27.3 ± 1.2) г/моль или от 26.1 до 28.5 г/моль. Этим условиям соответствует кремний (28.1 г/моль). Формула оксида SiO_2 .

2. Возможные реакции:



Разбалловка:

За установление формулы оксида (из них 5 б за расчеты)

9 б

За уравнения реакций по 3 б

12 б

За применение реакций по 1 б

4 б

Итого 25 баллов

Задача 8-2

В таблице приведена растворимость оксида бария в воде при разной температуре:

Температура, °С	20	50
Растворимость, г на 100 г воды	3.84	11.75

При охлаждении насыщенного при 50°C раствора до температуры 20°C в осадок выпадает только продукт X (массовая доля $\omega(\text{Ba}) = 43.49\%$, $\omega(\text{O}) = 50.79\%$).

1. Установите формулу X. Ответ подтвердите расчетами.
2. Рассчитайте растворимость $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и X при 20°C и 50°C.
3. Какая масса X образуется при охлаждении 100 г насыщенного раствора $\text{Ba}(\text{OH})_2$ от 50°C до 20°C?

Решение

1.

$$\frac{\omega(\text{Ba})}{M(\text{Ba})} : \frac{\omega(\text{O})}{M(\text{O})} : \frac{\omega(\text{H})}{M(\text{H})} = \frac{43.49}{137} : \frac{50.79}{16} : \frac{100 - 43.49 - 50.79}{1} = 0.3174 : 3.1743 : 5.72 = 1 : 10 : 18$$

$\text{BaO}_{10}\text{H}_{18}$ или $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

2. При растворении оксида бария в воде образуется гидроксид: $\text{BaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ba}(\text{OH})_2$, поэтому часть воды переходит в состав гидроксида бария.

Рассмотрим пример расчета для температуры 20°C.

$$n(\text{BaO}) = \frac{m(\text{BaO})}{M(\text{BaO})} = \frac{3.84 \text{ г}}{153 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0.0251 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 0.0251 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0.0251 \text{ моль} \cdot 171 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 4.291 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 4.291 \text{ г} = 95.709 \text{ г};$$

$$\frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2) \cdot 100}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{4.291 \cdot 100}{95.709} = 4.48 \text{ г} \quad \text{— растворимость } \text{Ba}(\text{OH})_2 \text{ в } 100 \text{ г воды.}$$

Для $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 0.0251 \cdot 9 = 0.2259 \text{ моль};$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}) = 0.0251 \text{ моль} \cdot 315 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 7.9065 \text{ г};$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 7.9065 \text{ г} = 92.0935 \text{ г};$$

$$\frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}) \cdot 100}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{7.9065 \cdot 100}{92.0935} = 8.59 \text{ г} \quad \text{— растворимость } \text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O} \text{ в } 100 \text{ г воды.}$$

В целом расчет можно проводить по следующей общей формуле:

$$100 \cdot \frac{\frac{m(\text{BaO в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O})}{M(\text{BaO})} \cdot M(\text{Ba}(\text{OH})_2)}{100 - \frac{m(\text{BaO в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O})}{M(\text{BaO})} \cdot M(\text{H}_2\text{O})} - \text{растворимость Ba}(\text{OH})_2 \text{ в } 100 \text{ г } \text{H}_2\text{O};$$

– растворимость $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ в 100 г H_2O .

Результаты:

Температура, °C	20	50
Растворимость $\text{Ba}(\text{OH})_2$, г на 100 г воды	4.31	13.32
Растворимость $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, г на 100 г воды	8.24	27.63

3.

$$\omega(20^\circ\text{C}) = 4.31/104.31 = 0.0413;$$

$$\omega(50^\circ\text{C}) = 13.32/113.32 = 0.1175.$$

Для 100 г исходного раствора составим выражение для массовой доли $\text{Ba}(\text{OH})_2$:

$$\frac{m(\text{Ba}(\text{OH})_2)_{\text{ис}} - \omega(\text{Ba}(\text{OH})_2)_{\text{ж}} \cdot m}{100 - m} = \omega(20^\circ\text{C}) \quad \frac{11.75 - 0.543 \cdot m}{100 - m} = 0.0413 ;$$

$$m(\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}) = 15.19 \text{ г.}$$

Разбалловка:

За установление формулы X

7 б

За расчет растворимости $\text{Ba}(\text{OH})_2$ и $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (по 2 б)

8 б

За расчет массы выпавшего осадка

10 б

Итого 25 баллов

Задача 8-3

Некоторая соль серосодержащей кислоты содержит 41.38% кислорода по массе. Насыщенный водный раствор этой соли разделили на три части. Первую часть обработали концентрированным раствором щелочи и нагрели до кипения, выделившийся бесцветный газ изменил цвет водного раствора лакмуса на синий.

Вторую часть обработали концентрированной соляной кислотой. Выделившийся бесцветный газ вызывает помутнение известковой воды; не горит; вызывает обесцвечивание фиолетовой окраски подкисленного серной кислотой раствора перманганата калия.

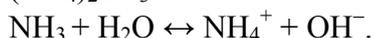
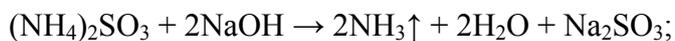
Третью часть выпарили и белый остаток прокалили при 200°C, после чего стакан оказался пустым. Определите состав соли.

Приведите краткие пояснения, напишите уравнения реакций.

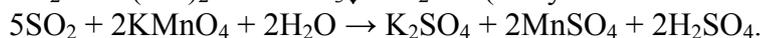
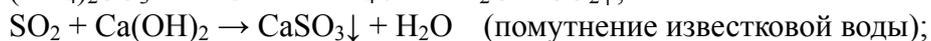
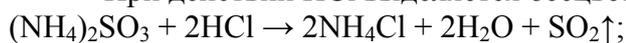
Решение

Анализируемая соль – сульфит аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$.

При нагревании со щелочью выделяется аммиак, водный раствор которого имеет щелочную среду и изменяет цвет лакмуса на синий.



При действии HCl выделяется бесцветный сернистый газ:

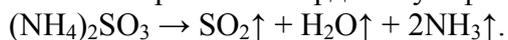


Нельзя было предположить карбонат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, так как он бы выделил CO_2 , который не дал бы цветную реакцию с перманганатом.

Нельзя предположить сульфид аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, так как он бы выделил H_2S , который является горючим газом.

Нельзя предположить нитрит аммония NH_4NO_2 , так как он бы дал смесь неокрашенного NO и окрашенного NO_2 .

Нагревание твердого сульфита аммония приводит к разложению без остатка:



Содержание кислорода подтверждает состав $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$:

$$\omega(\text{O}) = 48/116 = 0.4138 \quad (41.38\%).$$

Гидросульфит аммония NH_4HSO_3 , который дал бы те же самые качественные реакции, не подходит, так как у него $\omega(\text{O}) = 48/99 = 0.4848 \quad (48.48\%)$.

Разбалловка

За определение формулы $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$

56

За 5 уравнений реакций по 46

206

Итого 25 баллов

Задача 8-4

Стальной замкнутый сосуд объемом 134.4 л разделен пополам непроницаемой перегородкой. В первом отсеке находится смесь гелия и фтороводорода с равными массовыми долями. Во втором – смесь гелия и аммиака с равными мольными долями. Условия в сосуде нормальные. Не открывая сосуд, открыли перегородку и дождались прекращения всех изменений. Какие вещества, в каком агрегатном состоянии, в каком количестве будут находиться в конечном состоянии в сосуде? Если температура сохранилась, то давление останется неизменным, или понизится, или повысится? Почему?

Решение

Определим количественный состав газов в первом отсеке.

$V_1 = 67.2$ л, значит $n(\text{He}) + n(\text{HF}) = 67.2/22.4 = 3$ моль. Пусть $m(\text{He}) = m(\text{HF}) = x$ (г). Тогда $x/4 + x/20 = 3$. Отсюда $x=10$. $n(\text{He}) = 2.5$ моль, $n(\text{HF}) = 0.5$ моль.

Определим количественный состав газов во втором отсеке.

$V_2=67.2$ л, значит $n(\text{He}) = n(\text{NH}_3) = 1.5$ моль.

Аммиак реагирует с HF с образованием твердого фторида аммония NH_4F :



HF в недостатке, прореагирует полностью. Аммиак в избытке.

Состав конечной смеси:

NH_3 газ, $n(\text{NH}_3) = 1.5 - 0.5 = 1$ моль.

He газ, $n(\text{He}) = 2.5 + 1.5 = 4$ моль.

NH_4F твердый $n(\text{NH}_4\text{F}) = 0.5$ моль.

Давление снизится, так как в замкнутом сосуде при постоянных температуре и объеме снижение количества газообразных веществ (было 6 моль, стало 5 моль) приведет к снижению давления.

Разбалловка

За уравнение	5 б
За указание на твердый продукт NH_4F (0.5 моль)	5 б
За указание на газы (1 моль NH_3 и 4 моль He) по 5б	10 б
За указание на снижение P и причину – уменьшение n газов	5 б

Итого 25 баллов