

Межрегиональная олимпиада школьников
«Будущие исследователи – будущее науки» - 2024/25
Химия. Финальный тур. *Время выполнения заданий – 180 минут.*
11 класс

Задача 11-1

Тринарное соединение **М** широко используется в промышленности для получения металла **Х**. Оно встречается в природе в виде минерала, однако, известно ограниченное число месторождений **М**, и в России их практически нет. По этой причине для промышленных нужд **М** получают синтетически. Основной способ промышленного получения **М** заключается в обработке соединения **А** избытком водного раствора **У** с получением водного раствора кислоты **В**. Нейтрализация полученного раствора **В** гидрокарбонатом натрия приводит к выпадению осадка **М**.

При нагревании **А** образуются два бинарных соединения: **С** и **Д**. При действии на твердое соединение **С** бинарного фторсодержащего соединения **Е** при высокой температуре образуется малорастворимая в воде бинарная соль **Е** и газ **Г**, состоящий из трех элементов в эквимольном соотношении (плотность по гелию при данной температуре равна 34.5). Если соединение **Е** сплавлять с фторидом натрия в некотором мольном соотношении, то также образуется **М**.

1. Расшифруйте соединения, обозначенные буквами, если известно, что **А** – это гидроксид **Х** с массовой долей **Х**, равной 34.6%, **У** – бинарное соединение с массовой долей водорода 5%. При действии на 3.9 г **А** избытком водного раствора **У** образуется 200 г раствора с процентным содержанием **В** равным 3.6%. Массовая доля фтора в **Е** составляет 83.8%.

2. Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

3. Какую роль играет минерал **М** в получении металла **Х**? Как получают **Х** в промышленности? Ответ подтвердите уравнением реакции.

При расчетах используйте значения атомных масс элементов, округленные до целых чисел.

Решение

1. Установим формулы **А**, **Х** и **У**.

А – это гидроксид **Х**, общую формулу которого можно записать как $X(OH)_n$, где n – это степень окисления **Х**. Найдем молярную массу **Х**, учитывая, что массовая доля **Х** в **А** равна 34.6% или 0.346:

$$w(X) = M(X) / [M(X) + n \cdot M(OH)] = 0.346.$$

Отсюда получаем, что $M(X) / n = 9$.

Для $n = 1$, получаем $M(X) = 9$ – такую молярную массу имеет бериллий **Be**, но он проявляет в соединениях степень окисления +2, поэтому не подходит по условию задачи.

Для $n = 2$, получаем $M(X) = 18$ – нет химического элемента с такой молярной массой.

Для $n = 3$, получаем $M(X) = 27$ – такую молярную массу имеет алюминий **Al**, который проявляет в соединениях степень окисления +3.

Следовательно, **Х** – это **Al**, а соединение **А** – это гидроксид алюминия $Al(OH)_3$.

У – это бинарное соединение $ЭH_m$ с массовой долей водорода 5% или 0.05:

$$w(H) = M(H) / [M(Э) + m \cdot M(H)] = 0.05.$$

Отсюда получаем, что $M(Э) = 20 - m$.

Для $m = 1$ получаем $M(Э) = 19$ – это фтор **F**, остальные значения m не дают разумных результатов. Следовательно, **У** – это **HF**, а в реакции участвует водный раствор **HF**, то есть плавиковая кислота.

Теперь найдем молярную массу вещества **В** и его формулу, принимая, что это кислота, включающая один атом алюминия.

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = m(\text{Al}(\text{OH})_3) / M(\text{Al}(\text{OH})_3) = 3.9 \text{ г} / 78 \text{ г/моль} = 0.05 \text{ моль};$$

$$m(\text{В}) = 200 \text{ г} \cdot 0.036 = 7.2 \text{ г};$$

$$M(\text{В}) = 7.2 \text{ г} / 0.05 \text{ моль} = 144 \text{ г/моль}.$$

Катионы трехвалентных металлов, к которым относится Al, образуют с фторид-ионами анионы состава AlF_4^- , AlF_5^{2-} и AlF_6^{3-} , то есть минерал В имеет формулу $\text{H}_z[\text{AlF}_{(z+3)}]$.

$$1 \cdot z + 27 + 19 \cdot (z+3) = 144, \text{ отсюда } z = 3, \text{ то есть В – это фторалюминиевая кислота } \text{H}_3[\text{AlF}_6].$$

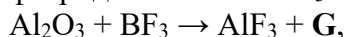
Вещество В – $\text{H}_3[\text{AlF}_6]$, М – $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$.

При нагревании А разлагается с образованием двух бинарных соединений – твердого Al_2O_3 (вещество С) и H_2O (вещество D).

Вещество F – это BF_3 , что можно установить с учетом массовой доли фтора:

$$19 \cdot a / [19 \cdot a + M(\text{Э})] = 0.838; M(\text{Э})/a = 3.67, \text{ при } a = 3, \text{ получаем } M(\text{Э}) = 11, \text{ то есть Э – это бор В.}$$

Поскольку М ($\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$) образуется из NaF и E, то можно сделать вывод, что E – это фторид алюминия AlF_3 . В соответствии с условия задачи, по реакции

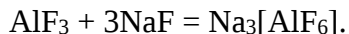
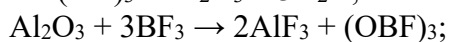
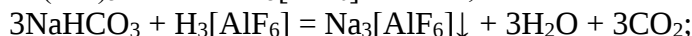
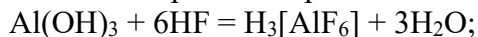


образуется соединение G, содержащее бор, кислород и фтор в эквимольном соотношении, то есть формулу G в общем виде можно записать $(\text{OBF})_k$.

Его молярная масса $M(\text{G}) = 34.5 \cdot 4 = 138 \text{ г/моль}$, $k = 138 / 46 = 3$, что соответствует составу $\text{G} = (\text{OBF})_3$.

X – Al; Y – HF; A – $\text{Al}(\text{OH})_3$; В – $\text{H}_3[\text{AlF}_6]$; М – $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$;
С – Al_2O_3 ; D – H_2O ; F – BF_3 ; E – AlF_3 ; G – $(\text{OBF})_3$.

2. Уравнения реакций:



3. Алюминий получают электролизом раствора Al_2O_3 в криолите $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$ при температуре около 1000°C по реакции: $2\text{Al}_2\text{O}_3 = 4\text{Al} + 3\text{O}_2$.

Разбалловка:

1. За установление веществ X, Y, M, A, B, C, D, E, F, G по 1 б.

10 б.

2. За уравнения реакций по 2 б.

12 б.

3. За указание роли M в получении X и способа получения X в промышленности 3 б.

Итого:

25 б.

Задача 11-2

Для определения карбонатов в щелочи используется кислотно-основное титрование, то есть содержание щелочи и карбонатов рассчитывают по объему раствора кислоты известной концентрации, который расходуется на реакцию с соответствующим веществом. При добавлении кислоты к анализируемому раствору, содержащему гидроксид и карбонат натрия, сначала титруется щелочь и карбонат по первой ступени, этот объем кислоты V_1 фиксируется по обесцвечиванию раствора фенолфталеина. Дальнейшее добавление кислоты к раствору сопровождается титрованием карбоната по второй ступени, этот суммарный от начала титрования объем V_2 фиксируется по изменению окраски метилового оранжевого с желтой на красную.

Гранулы гидроксида натрия, загрязненные карбонатом, полностью растворили в воде. Полученный раствор оттитровали раствором соляной кислоты и установили, что $V_1 = 10 \text{ мл}$, $V_2 = 12 \text{ мл}$.

1. Запишите уравнения реакции, которые протекают в растворе до V_1 и V_2 .

2. Установите массовую долю карбоната натрия и гидроксида натрия в образце.
3. Каким образом происходит загрязнение гидроксида натрия карбонатом? Ответ поясните и подтвердите уравнением реакции.
4. Чем обусловлено использование разных индикаторов для фиксации V_1 и V_2 ?

Решение

1. До V_1 протекают реакции: $\text{NaOH} + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} = \text{NaHCO}_3$.

От V_1 до V_2 протекает реакция: $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} = \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}$.

2. На титрование карбоната натрия по второй ступени расходуется объем $(V_2 - V_1)$. Из уравнений реакций видно, что $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{NaHCO}_3) = n(\text{HCl}) = (V_2 - V_1) \cdot C(\text{HCl})$.

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = (V_2 - V_1) \cdot C(\text{HCl}) \cdot 106.$$

На титрование NaOH потребовался объем $[V_1 - (V_2 - V_1)] = 2V_1 - V_2$. Аналогично:

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = (2V_1 - V_2) \cdot C(\text{HCl}).$$

$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = (2V_1 - V_2) \cdot C(\text{HCl}) \cdot 40.$$

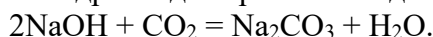
$$m(\text{образца}) = m(\text{Na}_2\text{CO}_3) + m(\text{NaOH}) = (V_2 - V_1) \cdot C(\text{HCl}) \cdot 106 + (2V_1 - V_2) \cdot C(\text{HCl}) \cdot 40 = C(\text{HCl}) \cdot [106 \cdot (V_2 - V_1) + 40 \cdot (2V_1 - V_2)] = C(\text{HCl}) \cdot 0.532.$$

$$\text{С учетом этого } w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = (V_2 - V_1) \cdot C(\text{HCl}) \cdot 106 / C(\text{HCl}) \cdot 0.532 =$$

$$= (0.012 - 0.01) \cdot C(\text{HCl}) \cdot 106 / C(\text{HCl}) \cdot 0.532 = 0.398 \text{ или } 39.8\%$$

$$w(\text{NaOH}) = 1 - 0.398 = 0.602 \text{ или } 60.2\%.$$

3. Гидроксид натрия взаимодействует с углекислым газом атмосферы:



4. Использование разных индикаторов основано на том, что они изменяют свою окраску при различной кислотности раствора. Фенолфталеин изменяет свою окраску в слабощелочной среде. После добавления V_1 HCl в растворе присутствует NaHCO_3 , водный раствор которого имеет слабощелочную среду. Метиловый оранжевый изменяет свою окраску в слабокислой среде. После добавления V_2 HCl в растворе присутствует H_2CO_3 , которая и создает слабокислую среду.

Разбалловка:

- | | |
|---|--------------|
| 1. За уравнения реакций по 2 б. | 8 б. |
| 2. За расчет массовой доли щелочи и карбоната по 5 б. | 10 б. |
| 3. За объяснение загрязнения щелочи | 2 б. |
| 4. За объяснение использования индикаторов | 5 б. |
| Итого: | 25 б. |

Задача 11-3

К настоящему времени достигнут высокий уровень развития химии ненасыщенных углеводородов. Разработаны уникальные катализаторы превращений, в которых могут друг с другом реагировать 2, 3 и больше молекул непредельных соединений; между ними могут протекать реакции присоединения, обмена; которые могут приводить к разрыву C-H , C=C , $\text{C}\equiv\text{C}$ связей (причем в кратных связях могут разрываться не только π , но и σ связи); эти взаимодействия могут сопровождаться формированием низкомолекулярных ациклических и алициклических, а также олигомерных, полимерных цепочек. Одной из таких реакций посвящена задача.

К 3 моль углеводорода **A** добавили некоторое количество его гомолога **B** и нагрели в замкнутом сосуде в отсутствие воздуха в инертном растворителе, содержащем катализатор – хлорид трис(мезитил-*трет*-бутиламидо)молибдена, в результате чего количество вещества **A** уменьшилось в 1.5 раза и в растворе в дополнение к непрореагировавшим **A** и **B** появился третий гомолог **C**.

Полученную смесь трех гомологов **A-C** выделили, разделили на 2 равные части, и первую половину подвергли процедуре **X**. Смесь кипятили с обратным холодильником с избытком KMnO_4 в слабощелочной среде, созданной разбавленным водным раствором KOH . По окончании реакции окисления к реакционной смеси прибавляли 3%-ный водный раствор пероксида водорода и продолжили нагревание. Охлажденный и отфильтрованный от бурого осадка бесцветный прозрачный раствор содержал две средние калиевые соли общим количеством 5 моль, причем массовая доля калия в них составляла 27.86 и 56.52%, соответственно.

Вторую половину смеси гомологов **A-C** подвергли процедуре **Y**. Смесь перемешивали в присутствии раствора сульфата ртути в 40%-ной серной кислоте при 0°C , после чего органические продукты отгоняли, кипятили с 3%-ным раствором пероксида водорода, затем охлаждали и титровали в присутствии фенолфталеина раствором NaOH с концентрацией 5 моль/л. Эквивалентный объем щелочи составил 200 мл.

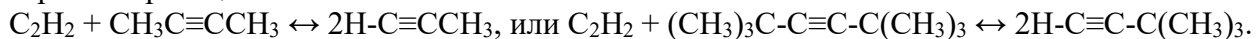
1. Определите состав и строение углеводородов **A-C**, учитывая, что в ^1H ЯМР спектрах этих веществ число сигналов различных по окружению атомов водорода не превышает двух. Пояснение: ^1H ЯМР спектр пропана содержит один сигнал группы метильных атомов H в виде триплета (три линии) и один сигнал группы метиленовых атомов H в виде септета (7 линий).

2. Определите количество исходного углеводорода **B**.

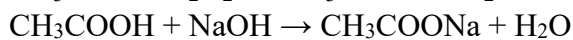
3. Напишите уравнение реакции между гомологами **A** и **B** на указанном на катализаторе, а также полные уравнения всех реакций, протекающих при описанных процедурах **X** и **Y**.

Решение

Описание условий реакции между **A** и **B** в присутствии катализатора Шрока может говорить о реакции метатезиса алкенов или алкинов. Описание процедуры **Y** свидетельствует о реакции Кучерова алкинов. Поскольку в реакции **A + B** получается только один гомолог **C**, можно заключить, что **A** и **B** – два исходных симметричных алкина, а **C** – несимметричный. Данные ^1H ЯМР спектров **A**, **B**, **C** позволяют предположить такие варианты реакции метатезиса алкинов:

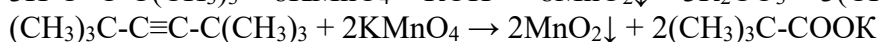
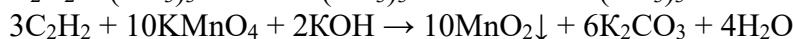


У всех этих веществ число групп протонов равно 1 для исходных и 2 для продуктов. Одним из симметричных участников обязательно должен является ацетилен, так как только он в ходе процедуры **Y** в реакции Кучерова дает альдегид, окисляющийся до CH_3COOH , способной титроваться щелочью по приведенным ниже уравнениям:



Подтверждением участия ацетилена является и то, что в ходе процедуры **X** он дает карбонат калия K_2CO_3 с содержанием калия $78/138 = 0.5652$ (56.52%), что соответствует условию задачи.

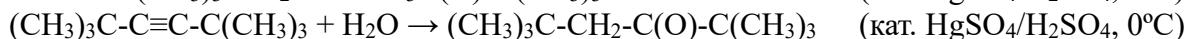
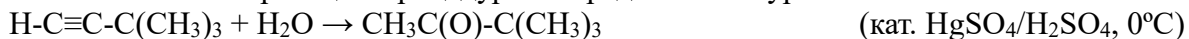
Вторым симметричным алкином является дитрет-бутилацетилен, так как окисление его приводит к пивалату калия $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{COOK}$ с содержанием калия $39/140 = 0.2786$ (27.86%):

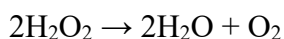


Избыток перманганата калия разлагается пероксидом водорода по схеме:



Остальные реакции процедуры **Y** представлены уравнениями ниже:





(t)

Итак, **А** и **В** – это либо ацетилен, либо ди-*трет*-бутилацетилен. Распознаем это.

Вариант №1. Пусть **А** – это C_2H_2 , его было 3 моль, а **В** – это $(\text{CH}_3)_3\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}(\text{CH}_3)_3$, его было x моль. Значит в реакции метатезиса осталось непрореагировавшим $3/1.5 = 2$ моль C_2H_2 . Расчеты количества **А**, **В**, **С** и продуктов процедур **Х** и **У** приведем в таблице:

	А (C_2H_2)	В ($t\text{-BuC}\equiv\text{CBu-}t$)	С ($\text{HC}\equiv\text{CBu-}t$)
Было:	3	x	0
Прореагировало:	1	1	-
Выделилось:	-	-	2
Стало:	2	$x-1$	2
Получится из них калиевых солей в результате процедуры Х *:	4	$2x-2$	4
Получится из них CH_3COOH в результате процедуры У *:	2	0	0

* В расчете не на половину, как в условии задачи, а на полную смесь веществ **А+В+С**.

По условию задачи 5 моль калиевых солей получилось из половины смеси **А+В+С**, значит из всей смеси получилось бы 10 моль. $2x+6=10$, $x=2$.

Из условия 1 моль NaOH (5 моль/л · 0.2 л) пошло на титрование CH_3COOH из половины смеси **А+В+С**, значит в расчете на всю смесь получилось бы 2 моль, и это точно согласуется с расчетами в таблице.

Итак, расчеты по варианту 1 дали положительный результат: **А** – это C_2H_2 , его было 3 моль, а **В** – это $t\text{-BuC}\equiv\text{CBu-}t$, его было 2 моль.

Вариант №2. Пусть **А** – это $t\text{-BuC}\equiv\text{CBu-}t$, его было 3 моль, а **В** – это C_2H_2 , его было x моль. Значит в реакции метатезиса осталось непрореагировавшим $3/1.5 = 2$ моль $t\text{-BuC}\equiv\text{CBu-}t$. Расчеты количества **А**, **В**, **С** и продуктов процедур **Х** и **У** приведем в таблице:

	А ($t\text{-BuC}\equiv\text{CBu-}t$)	В (C_2H_2)	С ($\text{HC}\equiv\text{CBu-}t$)
Было:	3	x	0
Прореагировало:	1	1	-
Выделилось:	-	-	2
Стало:	2	$x-1$	2
Получится из них калиевых солей в результате процедуры Х *:	4	$2x-2$	4
Получится из них CH_3COOH в результате процедуры У *:	0	$x-1$	0

* В расчете не на половину, как в условии задачи, а на полную смесь веществ **А+В+С**.

По условию задачи 5 моль калиевых солей получилось из половины смеси **А+В+С**, значит из всей смеси получилось бы 10 моль. $2x+6=10$, $x=2$.

Из условия 1 моль NaOH (5 моль/л · 0.2 л) пошло на титрование CH_3COOH из половины смеси **А+В+С**, значит в расчете на всю смесь получилось бы 2 моль, и это не согласуется с расчетами в таблице: $x-1 = 2-1 = 1$ моль. Вариант 2 является ошибочным.

Окончательный результат: **А** – это C_2H_2 , его было 3 моль, а **В** – это $t\text{-BuC}\equiv\text{CBu-}t$, его было 2 моль, **С** – это $\text{HC}\equiv\text{CBu-}t$.

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За определение состава и строения А , В , С по 3 б. | 9 б. |
| 2. За определение количества исходного В (2 моль) | 3 б. |
| 3. За уравнение реакции метатезиса между А и В | 3 б. |
| 4. За 10 уравнений реакций при процедурах Х и У по 1 б. | 10 б. |

Задача 11-4

Трассирующие снаряды зенитных пушек предназначены для обозначения траектории полета снаряда и корректировки огня. Трассирующий состав №1 представляет собой 57.6 г смеси пероксида стронция и металлического магния (в соотношении, обеспечивающем полное протекание реакции), которая запрессована в нижней части снаряда, воспламеняется горячими пороховыми газами в момент выстрела, горит с ярким свечением во время полета снаряда. Аналогичный трассирующий состав №2 с пониженной светимостью представляет собой 54.9 г смеси $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ с поливинилхлоридом (полихлорэтенем). Трассирующий состав №3 представляет собой 54.5 г пиррофорного сплава церия, лантана и железа, массовые доли 64.22, 25.505, 10.275%, соответственно. Поясок из этого сплава смонтирован на наружной поверхности снаряда, загорается в полете при трении о воздух.

Определите количества веществ окислителей, расходующихся при горении каждого трассирующего состава. Составьте уравнения реакций, протекающих при горении каждого состава. Вычислите значения изменения энтальпии ($\Delta_r H^\circ 298$) и изменения внутренней энергии ($\Delta_r U^\circ 298$) в реакциях горения указанных масс каждого состава. Известно, что изменение энтальпии в реакции, протекающей при постоянном давлении, равно сумме изменения внутренней энергии в системе и работы, совершаемой реакционной системой против сил внешнего атмосферного давления ($\Delta_r H^\circ = \Delta_r U^\circ + P\Delta V$); $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Па} \cdot 1 \text{ м}^3$.

Для расчетов используйте необходимые данные об энтальпиях образования исходных веществ и продуктов реакций: $\Delta_f H^\circ 298$, кДж/моль: -636.6 (SrO_2), -590.5 (SrO), -833.2 (SrCl_2), -984.08 [$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$], -601.8 (MgO), -37.26 (на моль структурного звена поливинилхлорида), -393.51 (CO_2), -285.83 ($\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}$), -1090.4 (CeO_2), -1794.2 (La_2O_3), -1117.1 (Fe_3O_4). В продуктах реакций нет сажи, O_2 , Cl_2 . Выход всех реакций 100% по всем участвующим веществам. Атмосферное давление составляет 1 атм. Атомные массы элементов, за исключением Cl, округляйте до целых чисел.

Решение

Трассирующий состав №1

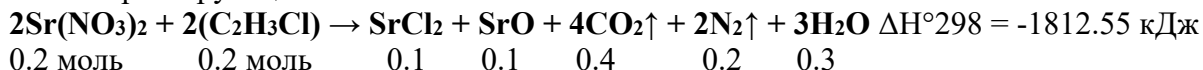


Пусть $n(\text{Mg}) = x$ моль, тогда $n(\text{SrO}_2) = x$ моль. Масса смеси ($\text{Mg} + \text{SrO}_2$) = $24x + 120x = 144x = 57.6 \text{ г}$, $x = 0.4$ моль. Итак, $n(\text{Mg}) = 0.4$ моль, **$n(\text{SrO}_2) = 0.4$ моль.**

$$\Delta_r H^\circ 298 = 0.4(-590.5 - 601.8 + 636.6) = 0.4 \cdot (-555.7) = \textbf{-222.28 кДж}.$$

Поскольку газы не участвуют в реакции, $\Delta_r U^\circ 298 = \Delta_r H^\circ 298 = \textbf{-222.28 кДж}.$

Трассирующий состав №2



0.2 моль 0.2 моль 0.1 0.1 0.4 0.2 0.3
Пусть $n(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = x$ моль, тогда и $n(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}) = x$ моль. Масса смеси ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ + поли- $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$) = $212x + 62.5x = 274.5x = 54.900 \text{ г}$, $x = 0.2$ моль. Итак, **$n(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = 0.2$ моль,**
 $n(\text{ПВХ}) = 0.2$ моль звеньев $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$.

$$\Delta_r H^\circ 298 \text{ (в расчете на 2 моль } \text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = -833.2 - 590.5 - 4 \cdot 393.51 - 3 \cdot 285.83 + 2 \cdot 984.08 + 2 \cdot 37.26 = -833.2 - 590.5 - 1574.04 - 857.49 + 1968.16 + 74.52 = -1812.55 \text{ кДж}.$$

Значит в расчете на 0.2 моль $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ **$\Delta_r H^\circ 298 = -181.255 \text{ кДж}$.**

Газы выделяются, $\Delta V > 0$. $n(\text{CO}_2 + \text{N}_2) = 0.4 + 0.2 = 0.6$ моль. $\Delta V = 22.4 \cdot 0.6 = 13.44 \text{ л} = 0.01344 \text{ м}^3$.

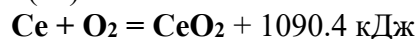
$$\Delta_r U^\circ 298 = \Delta_r H^\circ 298 - P\Delta V = -181255 - 101325 \text{ Па} \cdot 0.01344 \text{ м}^3 = -181255 - 1361.8 = -182616.8 \text{ Дж} = -182.617 \text{ кДж}. \text{ Итак, } \Delta_r U^\circ 298 = \textbf{-182.617 кДж}.$$

Трассирующий состав №3

$$n(\text{Ce}) = 54.5 \cdot 0.6422 / 140 = 0.25 \text{ моль}.$$

$$n(\text{La}) = 54.5 \cdot 0.25505 / 139 = 0.1 \text{ моль}$$

$$n(\text{Fe}) = 54.5 \cdot 0.10275 / 56 = 0.1 \text{ моль}$$



$$\Delta_{\text{r3}}H^\circ 298 = 0.25 \cdot (-1090.4) + 0.05 \cdot (-1794.2) + 0.0333 \cdot (-1117.1) = -272.6 - 89.71 - 37.2 = -399.51 \text{ кДж.}$$

Газ O_2 поглощается, $\Delta V < 0$. $n(\text{O}_2) = 0.25 + 0.075 + 0.0667 = 0.3917 \text{ моль.}$

$$V(\text{O}_2) = 22.4 \cdot 0.3917 = 8.774 \text{ л. } \Delta V(\text{O}_2) = -0.008774 \text{ м}^3.$$

$$\Delta_{\text{r3}}U^\circ 298 = \Delta_{\text{r2}}H^\circ 298 - P\Delta V = -399510 - 101325 \text{ Па} \cdot (-0.008774 \text{ м}^3) = -399510 + 889.026 = -398621 \text{ Дж} = -398.621 \text{ кДж.}$$

Итак, $\Delta_{\text{r3}}U^\circ 298 = -398.621 \text{ кДж.}$

Разбалловка

1. За $n(\text{SrO}_2) = 0.4 \text{ моль}$, $n(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = 0.2 \text{ моль}$, $n(\text{O}_2) = 0.3917 \text{ моль}$ по 2 б. 6 б.
 2. За $\Delta_{\text{r1}}H^\circ 298 = -222.28 \text{ кДж}$, $\Delta_{\text{r2}}H^\circ 298 = -181.255 \text{ кДж}$, $\Delta_{\text{r3}}H^\circ 298 = -399.51 \text{ кДж}$ по 1 б. 3 б.
 3. За $\Delta_{\text{r1}}U^\circ 298 = -222.28 \text{ кДж}$, $\Delta_{\text{r2}}U^\circ 298 = -182.617 \text{ кДж}$, $\Delta_{\text{r3}}U^\circ 298 = -398.621 \text{ кДж}$ по 2 б. 6 б.
 4. За 5 уравнений реакций по 2 б. 10 б.
- Всего: 25 б.