

Межрегиональные предметные олимпиады КФУ
профиль «Химия»
заключительный этап
2020-2021 учебный год
10 класс

Задача 1. Кстати о кальции. (25 баллов)

Тишину школьного урока химии прервал талантливый ученик Лука:

– Вопрос! Я знаю, что это не относится к теме занятия, но есть ли какие-то интересные соединения у кальция?

Лука правильно уловил суть урока: кальций к теме совершенно не относился, а потому Учитель предложил Луке сделать экспериментальную задачу по качественному анализу некоторых соединений кальция после уроков.

Перед Лукой и Учителем оказалось 5 сухих неокрашенных порошков в пронумерованных пробирках. Лука проверил порции порошков на растворимость в воде: оказалось, что вещество №3 нерастворимо в воде. Универсальный индикатор показал, что в растворах веществ №1 и №2 среда нейтральная, в растворе №4 – щелочная, в растворе №5 – слабощелочная.

Раствор №1 при добавлении концентрированной азотной кислоты образовал дурно пахнущий раствор красного цвета и бурый газ (*р-ция 1*), а с раствором нитрата свинца дал белый осадок (*р-ция 2*). Раствор вещества №2 с обоими этими реактивами никак не изменился, однако Луке удалось при прокаливании вещества №2 наблюдать образование бурого газа (*р-ция 3*). В реакциях, где образовывался бурый газ, Учитель по газоотводным трубкам направлял его в раствор вещества №4, в котором бурый газ растворялся и обесцвечивался (*р-ция 4*). Лука собирался прокалить и вещество №3, однако Учитель испуганно его остановил:

– Не стоит, визуальных признаков у этой реакции нет, однако выделяющимся газом с молярной массой 28 г/моль лучше не дышать (*р-ция 5*)!

Вместо этого Учитель взял красный раствор, оставшийся от *реакции 1*, и добавил по каплям к порошку №3: тот зашипел и медленно растворился, а красный раствор обесцветился (*р-ция 6*). Выделившийся в *реакции 6* газ не имеет цвета и запаха, не горит на воздухе и не поддерживает горение. Красный раствор обесцветился без выделения газа при добавлении к раствору вещества №4 (*р-ция 7*). Однако ни красный раствор, ни растворы №1, №2 и №4 никак не подействовали на раствор №5.

?1. Лука угадал только вещества №1 – №4. Сделайте это и Вы.

?2. Запишите уравнения *реакций 1 – 7*.

Для установления вещества №5 Учитель дал Луке дополнительную информацию:

– Если вещество №5 прокалить при температуре 350°C, то в твердой фазе останется только твердый продукт *реакции 5*. Летучий продукт этой реакции в газообразном состоянии имеет плотность 2.69 г/л при нормальном атмосферном давлении и температуре 117°C. Если раствор вещества №5 подвергнуть электролизу, то на катоде образуется легкий горючий взрывоопасный газ, а на аноде – смесь двух газов в объемном соотношении 2:1 с плотностью по воздуху 1.678. При пропускании этой смеси через раствор №4 объем газа уменьшается в 3 раза, а в осадок выпадает вновь твердый продукт *реакции 5*.

Лука крепко задумался. Считать он не любил.

?3. Помогите Луке разгадать вещество №5.

?4. Запишите уравнения реакций, происходящих при прокаливании и электролизе вещества №5. Продуктам дайте названия.

Задача 2. Многоликий ванадий. (25 баллов)

Ванадий проявляет все степени окисления от +2 до +5: в растворе в кислой среде могут присутствовать ионы V^{2+} , V^{3+} , VO^{2+} , VO_2^+ . Эти формы легко превращаются друг в друга под действием окислителей и восстановителей и легко окисляют и восстанавливают друг друга.

?1. Какая форма ванадия(V) присутствует в сильнощелочной среде?

?2. Запишите уравнение реакции, происходящее при сливании хлорида ванадия(III) и VO_2Cl в среде соляной кислоты.

Для титриметрического определения ванадия в растворе используют самые разные методики, позволяющие селективно оттитровывать разные его формы до фиксированной степени окисления в разных условиях.

Две одинаковые порции раствора объемом 15.00 мл, содержащего сульфат ванадия в неизвестной степени окисления, подкислили серной кислотой. Первую порцию оттитровали 0.03459 М раствором $KMnO_4$ в присутствии индикатора феносафранина, объем титранта, пошедший на титрование, составил 11.36 мл. Вторую порцию оттитровали тем же раствором $KMnO_4$ в присутствии индикатора дифениламинсульфоната бария, результат титрования составил 34.08 мл.

?3. Определите, в какой степени окисления находился ванадий в исходном растворе, и рассчитайте его концентрацию (моль/л). Запишите уравнения реакций, происходящих в первом и втором титровании. Приведите Ваши расчеты.

Раствор 1 содержит $\text{VO}(\text{NO}_3)_2$ и VO_2NO_3 в суммарной концентрации 0.1098 М. На титрование 10.00 мл этого раствора раствором сульфата железа(II) в присутствии фосфорной кислоты (эта процедура позволяет превратить весь ванадий в ванадий(III)) идёт 14.35 мл 0.1349 М раствора FeSO_4 .

Раствор 2 содержит ванадий в двух соседних степенях окисления. 15.00 мл этого раствора оттитровали 0.06139 М раствором KMnO_4 в присутствии дифениламинсульфоната бария в кислой среде. Объем титранта составил 12.33 мл. На титрование полученного в результате этого титрования раствора в среде фосфорной кислоты пошло 21.99 мл 0.1349 М раствора FeSO_4 .

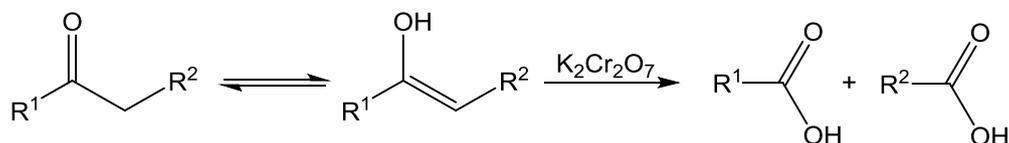
?4. Рассчитайте концентрации солей в **растворе 1**.

?5. Какие ванадийсодержащие ионы и в каких концентрациях присутствуют в **растворе 2**? Ответ подтвердите расчетом.

?6. Какой объем **раствора 1** необходимо добавить к 100 мл подкисленного **раствора 2**, чтобы в полученном растворе содержался ванадий только в степени окисления +4?

Задача 3. Способы окисления кетонов. (25 баллов)

Кетоны устойчивы к действию большинства окислителей, однако их обработка смесью дихромата калия и серной кислоты в жёстких условиях ведёт к разрыву С-С связи и образованию смеси карбоновых кислот. Реакция идёт через промежуточное образование енола:



?1. Запишите уравнение реакции окисления пентанона-3 смесью дихромата калия и серной кислоты с коэффициентами.

Несимметричные кетоны обычно способны образовывать две разные енольные формы, что приводит к образованию более сложной смеси.

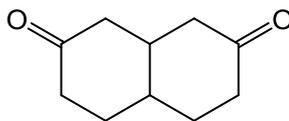
?2. Какие продукты образуются при окислении октанона-3 смесью дихромата калия и серной кислоты? Нарисуйте их структурные формулы.

Известно, что при окислении бутанона указанными реагентами образовалась смесь уксусной и пропионовой кислот в соотношении 5:1.

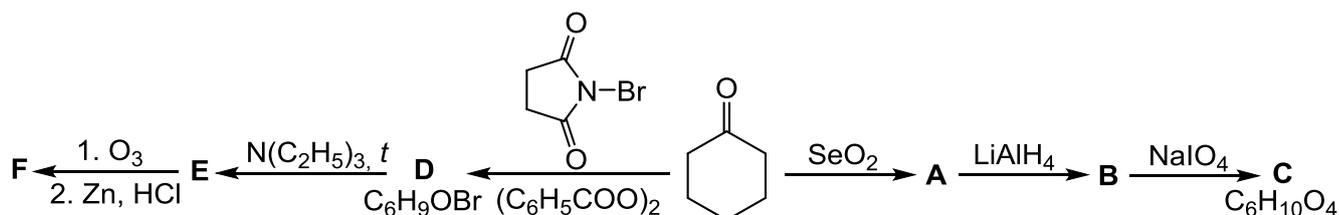
?3. Считая, что кислоты образуются из равновесной смеси енольных форм, рассчитайте константу равновесия превращения менее устойчивой енольной формы бутанона в более устойчивую. Изменится ли равновесное соотношение енольных форм: а) при увеличении концентрации кислоты, б) при увеличении концентрации бутанона, в) при увеличении температуры?

Более сложные смеси могут образовываться при окислении кетонов, содержащих несколько карбонильных групп.

?4. Приведите структурные формулы всех возможных органических продуктов окисления дихроматом калия в присутствии серной кислоты diketона, изображённого ниже:



Кетоны удается косвенно превращать в окисленные производные и иными способами. Ниже приведена цепочка превращений с участием циклогексанона:



?5. Нарисуйте структурные формулы веществ А – F, полученных из циклогексанона по приведенной схеме.

Задача 4. Дважды ядовитый. (25 баллов)

Цианид ртути(II) – крайне ядовитое вещество. В твердом виде он имеет молекулярное строение. При нагревании до 350°C он возгоняется с частичным разложением на пары ртути и дициан (газ с формулой C_2N_2), при этом часть цианида ртути остается неразложившейся в газовой фазе. В одном опыте при нагревании цианида ртути была получена газообразная смесь с плотностью по воздуху 4.88.

?1. Рассчитайте тепловые эффекты процессов возгонки цианида ртути (без разложения) и превращения твердого цианида ртути в дициан и пары ртути. Известны энергии связей ртуть-углерод в молекуле $Hg(CN)_2$ (280 кДж/моль), углерод-углерод в C_2N_2 (281 кДж/моль) и энтальпии образования твердого (264 кДж/моль) и газообразного цианида ртути (372 кДж/моль).

?2. Определите состав газовой смеси, образовавшейся при разложении, в мольных %.

?3. Рассчитайте константу равновесия реакции $Hg(CN)_2(г.) \rightleftharpoons Hg(г.) + C_2N_2(г.)$ в условиях проведения опыта, если общее давление в газовой смеси составило 0.5 бар.

Газообразный дициан по поведению во многих процессах подобен галогенам. Так, на свету он, подобно молекулам галогенов, частично разлагается с образованием неустойчивых частиц, которые довольно быстро вновь соединяются в дициан. Это позволило изучить строение и свойства дициана методом флэш-фотолиза: в этом методе неустойчивые радикалы генерируют коротким интенсивным пучком света, а затем следят за поведением образовавшихся радикалов.

?4. Нарисуйте структурные формулы молекулы дициана и радикалов, образующихся при его разложении на свету. Укажите в структурных формулах все неподеленные электронные пары и неспаренные электроны.

?5. Рассчитайте, какая энергия необходима для разложения одной молекулы C_2N_2 (в Дж).

?6. Рассчитайте максимальную длину волны света, который способен вызвать разложение C_2N_2 .

?7. Предполагая, что весь избыток энергии фотона, поглощенного молекулой, превращается в кинетическую энергию образующихся при разрыве связи радикалов, рассчитайте скорость радикалов, если использовался лазер с длиной волны света 230 нм.

Дополнительная информация:

Число Авогадро $N_A = 6.022 \cdot 10^{23}$

Энергия кванта света с длиной волны λ : $E = hc/\lambda$

Постоянная Планка: $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с

Скорость света в вакууме: $c = 2.998 \cdot 10^8$ м/с.

10 класс

Задача 1. Кстати о кальции (25 баллов)

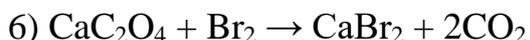
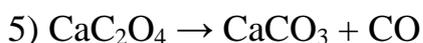
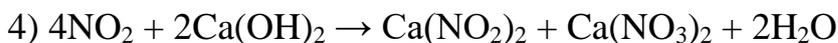
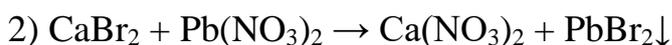
1. Раствор №1 содержит анион сильной кислоты. Соль в этом растворе дает белый осадок с ионами Pb^{2+} (возможно, Cl^- , Br^- , SO_4^{2-}) и окисляется азотной кислотой с образованием красного дурно пахнущего раствора (из перечисленных анионов легче всего окисляется бромид). Эти признаки однозначно указывают на бромид кальция, **CaBr₂**, а красный раствор после реакции с азотной кислотой содержит Br_2 .

Раствор №2 также содержит анион сильной кислоты и при прокаливании соли из этого раствора образуется NO_2 . Такое поведение характерно для нитратов, поэтому **раствор №2** содержит **Ca(NO₃)₂**.

Вещество №3 нерастворимо в воде и при прокаливании выделяет газ с молярной массой 28 г/моль, которого учитель боится, видимо, ввиду его ядовитости. Этот газ – это CO , который образуется при прокаливании оксалатов, так что **вещество №3** – это **CaC₂O₄**.

Выделяющийся NO_2 поглощался раствором №4 с щелочной средой. Как известно, NO_2 хорошо реагирует со щелочами, поэтому **раствор №4** – это раствор **Ca(OH)₂**.

2. Уравнения реакций:



Гипобромиты неустойчивы, однако поскольку многие участники, вероятно, будут использовать аналогию с хлором, оба варианта считаются верными.

3. При электролизе образовалась смесь какого-то газа с молярной массой M и углекислого газа (который дает $CaCO_3$ с раствором гидроксида кальция) в соотношении 2 : 1. Выразим среднюю молярную массу смеси через мольные доли.

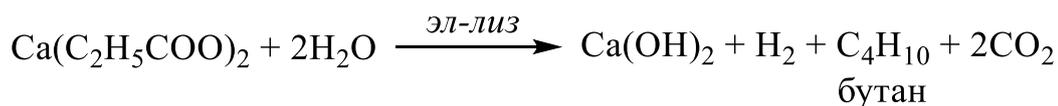
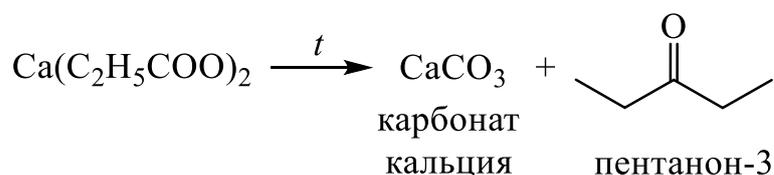
$$M_{cp} = \frac{2}{3} \cdot 44 + \frac{1}{3} \cdot M = 48.66$$

$$M = 58 \text{ г/моль.}$$

Газ с молярной массой 58 г/моль – это бутан, C_4H_{10} . При электролизе соли №5, таким образом, образуется бутан и углекислый газ, это реакция Кольбе, приводящая к декарбоксилированию и димеризации карбоксилатов. Тогда соль №5 – это пропионат кальция, $Ca(C_2H_5COO)_2$.

Продукт прокаливания имеет молярную массу $M = \rho RT/p = 86$ г/моль. Это соответствует брутто-формуле $C_5H_{10}O$. По реакции Дюма из пропионата кальция должен получиться пентанон-3.

4. Уравнения реакций с названиями:



Система оценивания:

1. Вещества №1 - №4 по 2 балла – **8 баллов.**
2. 7 реакций по 1 баллу – **7 баллов.**
3. Вещество №5 – **3 балла.**
4. 2 реакции по 2 балла, 3 названия по 1 баллу – **7 баллов.**

Задача 2. Многоликий ванадий

1. В сильнощелочной среде существует ванадат-ион VO_4^{3-} .

2. Уравнение реакции: $VCl_3 + VO_2Cl \rightarrow 2VOCl_2$.

3. Поскольку объем титранта отличается в 3 раза, количество электронов, отдаваемых ванадием в реакции с марганцовкой, также отличается в 3 раза. Это возможно только в случае, если в первом титровании происходит переход $V^{2+} - 1e^- \rightarrow V^{3+}$, а во втором – $V^{2+} - 3e^- \rightarrow V^{5+}$. Значит, в исходном растворе был V^{2+} .

Уравнения реакций:



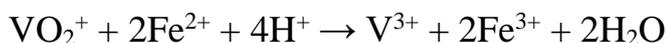
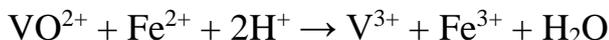
Рассчитаем концентрацию ванадия по первому титрованию.

$$n(\text{VSO}_4) = 5n(\text{KMnO}_4)$$

$$c(\text{VSO}_4)V(\text{VSO}_4) = 5c(\text{KMnO}_4)V(\text{KMnO}_4)$$

$$c(\text{VSO}_4) = 5c(\text{KMnO}_4)V(\text{KMnO}_4)/V(\text{VSO}_4) = \mathbf{0.131 \text{ M}}$$

4. Уравнения реакций в ионном виде:



Обработаем результаты титрования, обозначив концентрации VO^{2+} и VO_2^+ за $x \text{ M}$ и $y \text{ M}$, соответственно.

$$n(\text{Fe}^{2+}) = n(\text{VO}^{2+}) + 2n(\text{VO}_2^+)$$

$$c(\text{Fe}^{2+})V(\text{Fe}^{2+}) = (x + 2y)V$$

$$x + 2y = 14.35 \cdot 0.1349 : 10 = 0.1936$$

Также известно, что $x + y = 0.1098$. Решением полученной системы из двух уравнений является $x = c(\text{VO}^{2+}) = \mathbf{0.0260 \text{ M}}$, $y = c(\text{VO}_2^+) = \mathbf{0.0838 \text{ M}}$.

5. Перманганатом калия в присутствии дифениламинсульфоната бария все степени окисления ванадия титруются до V^{5+} . Количество затраченного KMnO_4 составило $n(\text{KMnO}_4) = cV = 7.569 \cdot 10^{-4}$ моль.

Железо(II) в фосфорнокислой среде превращает V^{5+} в V^{3+} по уравнению реакции $\text{VO}_2^+ + 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{V}^{3+} + 2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$. Это титрование позволяет рассчитать общее количество ванадия в исходном растворе.

$$n(\text{Fe}^{2+}) = 2n(\text{VO}_2^+)$$

$$c(\text{Fe}^{2+})V(\text{Fe}^{2+}) = 2n_{\text{общ}}(\text{V})$$

$$n_{\text{общ}}(\text{V}) = 0.1349 \cdot 21.99 \cdot 10^{-3} : 2 = 1.483 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

Поскольку перманганат калия превращается в Mn^{2+} , то каждый перманганат-ион принимает 5 электронов в реакции с ионами ванадия, то есть $1.483 \cdot 10^{-3}$ моль ионов ванадия отдают $5 \cdot 7.569 \cdot 10^{-4} = 3.7845 \cdot 10^{-3}$ моль электронов. В среднем тогда каждый ион ванадия отдал $3.7845/1.483 = 2.552$ электрона. Поскольку в растворе ванадий был в соседних степенях окисления, то часть ионов отдала 3 электрона, а часть – два, значит, **в растворе присутствовали V^{2+} и V^{3+} .**

Пусть 15 мл раствора содержали x моль V^{2+} (отдает 3 электрона) и y моль V^{3+} (отдает 2 электрона). Тогда $x + y = n_{\text{общ}}(\text{V}) = 1.483 \cdot 10^{-3}$, а $3x + 2y = 3.7845 \cdot 10^{-3}$. Решением полученной системы является $x = 8.185 \cdot 10^{-4}$ и $y = 6.645 \cdot 10^{-4}$.

$$c(\text{V}^{2+}) = x : V = \mathbf{0.0546 \text{ M}}$$

$$c(\text{V}^{3+}) = y : V = \mathbf{0.0443 \text{ M}}$$

6. Необходимо, чтобы весь ванадий(V) из раствора 1 прореагировал со всем ванадием(III) и ванадием(II) из раствора 2 по реакциям $V^{3+} + VO_2^+ \rightarrow 2VO^{2+}$ и $V^{2+} + 2VO_2^+ + 2H^+ \rightarrow 3VO^{2+} + H_2O$.

$$c(V^{3+})V_2 + 2c(V^{2+})V_2 = c(VO_2^+)V_1$$

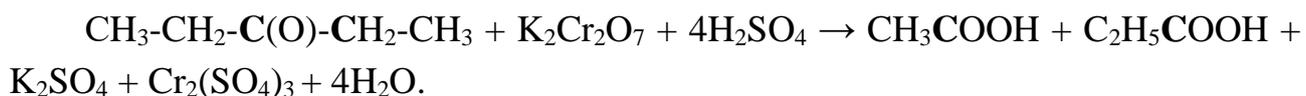
$$V_1 = 183 \text{ мл.}$$

Система оценивания:

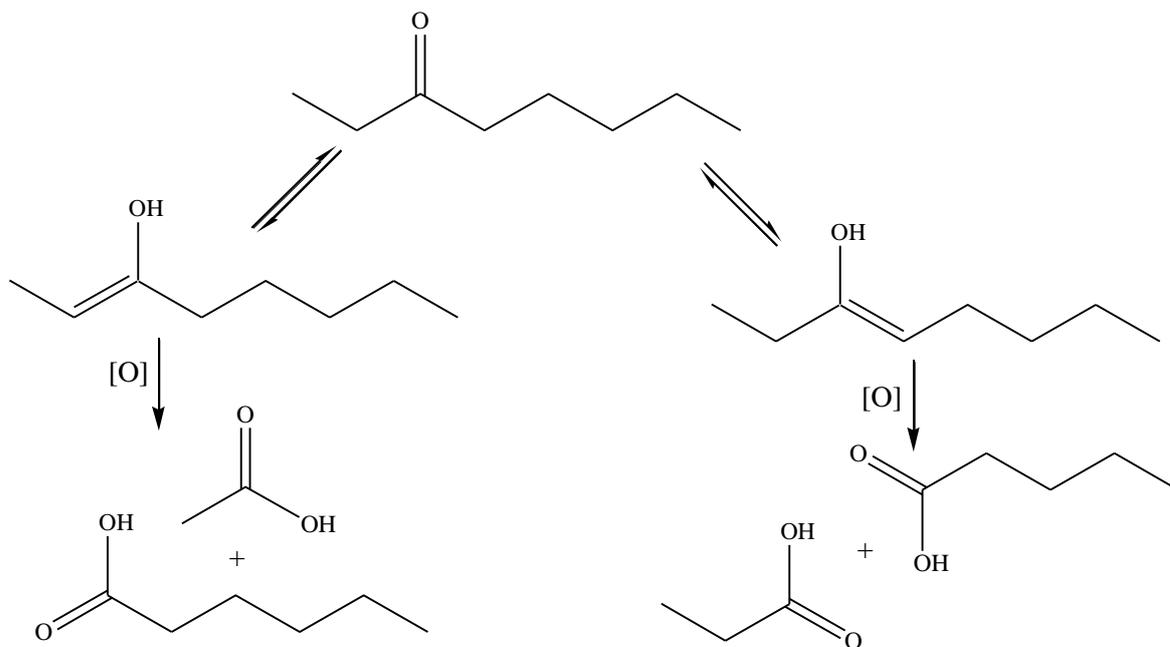
1. Упоминание VO_4^{3-} – **2 балла**.
2. Уравнение реакции – **1 балл**.
3. Определение степени окисления с объяснением 2 балла, 2 реакции по 2 балла, концентрация ванадия 1 балл – **7 баллов**.
4. Составление системы 2 балла, значения двух концентраций по 2 балла – **6 баллов**.
5. Определение степеней окисления ионов с обоснованием 3 балла, значения концентраций по 2 балла – **7 баллов**.
6. Расчет объема – **2 балла**.

Задача 3. Способы окисления кетонов (25 баллов)

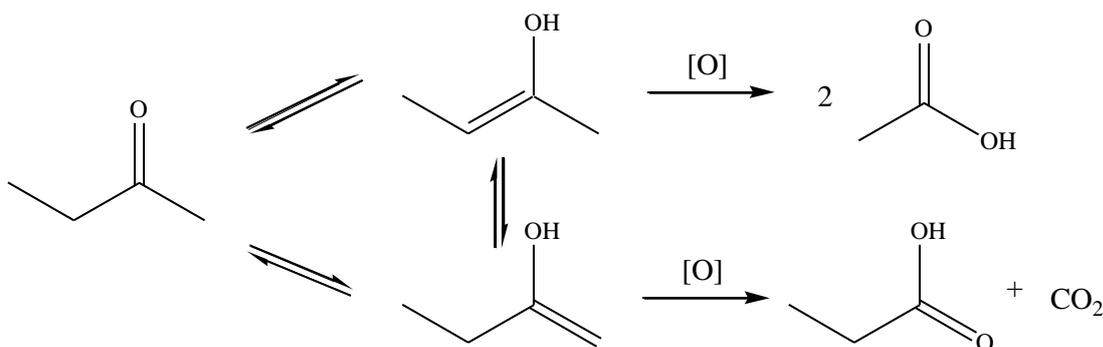
1. В случае окисления пентанона-2 образуется эквимольная смесь уксусной (CH_3COOH) и пропионовой (C_2H_5COOH) кислот, а хром восстанавливается до степени окисления +3:



2. Октанон-3 способен образовывать две енольные формы (без учёта изомерии), каждая из которых при окислении даёт по две карбоновых кислоты в соответствии со схемой:



3. Уксусная и пропионовая кислоты образуются из двух енолов в соответствии со схемой:



При этом енол, содержащий двойную связь на конце, является менее стабильным. Обозначив количество более стабильной формы как X , и менее стабильной как Y , константу равновесия изомеризации можно выразить как:

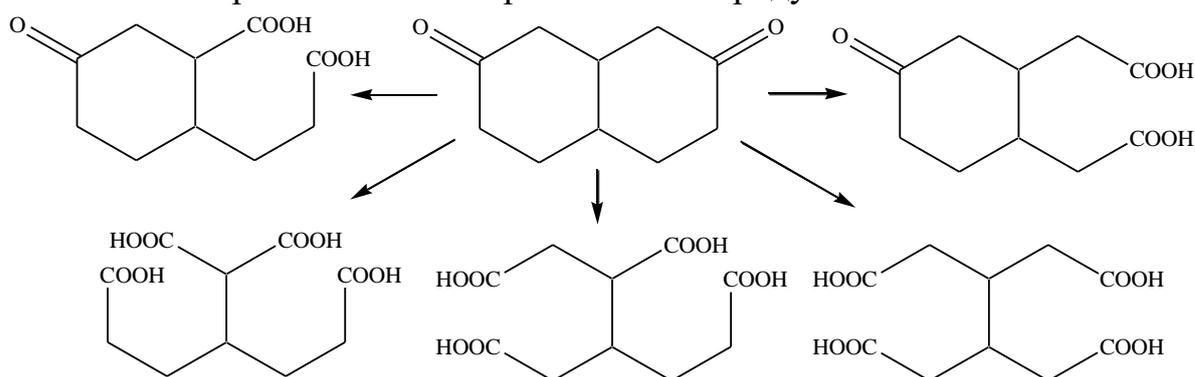
$$K = \frac{X}{Y}$$

При этом из X моль стабильной формы образуется $2X$ моль уксусной кислоты, а из Y моль менее стабильной формы – Y моль пропионовой кислоты. Из условия соотношение форм уксусной и пропионовой кислоты $2X : Y = 5:1$, откуда $X : Y = K = 2.5$.

Константа данного равновесия *a)* не зависит от кислотности среды, *б)* не зависит от количества бутанона (хотя стоит отметить, что абсолютные количества енольных форм будут меняться), но *в)* зависит от температуры (как и константа равновесия любого процесса).

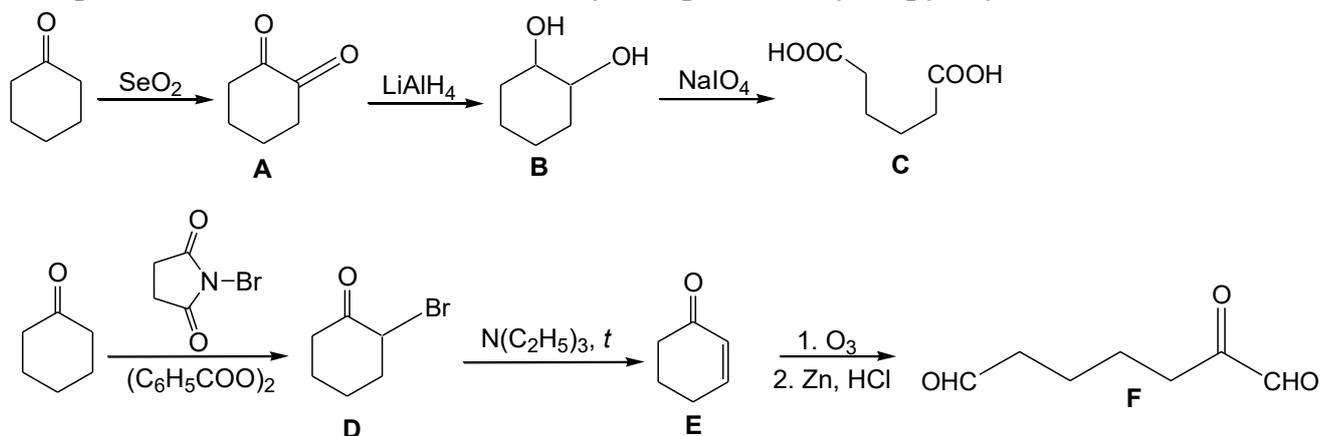
4. Для ответа на следующий вопрос необходимо вновь проанализировать енольные формы, образуемые целевым кетоном. Также необходимо принять во внимание, что окисление идёт достаточно медленно, в связи с чем возможно

образование продуктов, в которых одна из карбонильных групп сохраняется. Итого возможно образование пяти органических продуктов:



5. Сперва проанализируем правую часть цепочки превращений. Взаимодействие кетонов с диоксидом селена – реакция Райли, позволяющая вводить карбонильную группу в альфа-положение к уже существующей. Избыточное восстановление полученного дикетона ведёт к двухатомному спирту, который затем окисляется периодатом натрия. Поскольку на схеме отсутствует стадия нейтрализации литиевой соли после восстановления, в качестве ответа может быть принято литиевое производное **В**. Расщепление диолов периодатом натрия (реакция Малапрада) обычно ведёт к образованию альдегидов, но брутто-формула говорит об образовании дикарбоновой кислоты.

Обработка карбонильного соединения N-бромсукцинимидом – радикальное бромирование в альфа-положение. Последующая обработка основанием ведёт к отщеплению бромоводорода и образованию двойной связи, которая расщепляется под действием озона. Поскольку озонлиз проводят в восстановительных условиях, расщепление ведёт к образованию диальдегида, содержащего дополнительно исходную карбонильную группу.



Система оценивания:

1. Уравнение реакции с коэффициентами – **3 балла**.
2. 4 продукта по 0.5 балла – **2 балла**.
3. Константа равновесия 3 балла, пункты *a-v* по 1 баллу – **6 баллов**.

4. 5 продуктов по 1 баллу – 5 баллов.

5. 6 структурных формул по 1.5 балла – 9 баллов.

Задача 4. Дважды ядовитый (25 баллов)

1. $\text{Hg}(\text{CN})_{2(\text{тв.})} \rightarrow \text{Hg}(\text{CN})_{2(\text{г.})} \Delta H_1 = 372 - 264 = 108 \text{ кДж/моль}$.

В реакции $\text{Hg}(\text{CN})_{2(\text{г.})} \rightarrow \text{Hg}(\text{г.}) + \text{C}_2\text{N}_{2(\text{г.})}$ рвутся 2 связи Hg–C и образуется 1 связь C–C, значит, энтальпия этой реакции равна $\Delta H = +2E(\text{Hg}-\text{C}) - E(\text{C}-\text{C}) = 279 \text{ кДж/моль}$.

Тогда энтальпия реакции



2. Средняя молярная масса смеси равна $M_{\text{ср}} = 29 \cdot 4.88 = 141.52$. Смесь состоит из ртути и дициана в соотношении 1 : 1 и неразложившегося цианида ртути. Тогда $141.52 = 200.6x + 52x + 252.6(1 - 2x)$, где x – мольная доля ртути и дициана в газе. Решением уравнения является $x = 0.440$. Тогда мольные доли соединений в смеси: 44.0% Hg, 44.0% C_2N_2 и 12.0% $\text{Hg}(\text{CN})_2$.

3. Константа равновесия:

$$K = \frac{P_{\text{Hg}} P_{\text{C}_2\text{N}_2}}{P_{\text{Hg}(\text{CN})_2}} = \frac{x_{\text{Hg}} P_{\text{общ}} x_{\text{C}_2\text{N}_2} P_{\text{общ}}}{x_{\text{Hg}(\text{CN})_2} P_{\text{общ}}} = \frac{x_{\text{Hg}} x_{\text{C}_2\text{N}_2}}{x_{\text{Hg}(\text{CN})_2}} P_{\text{общ}} = \frac{0.44^2}{0.12} 0.5 = 0.81$$

4. Структурные формулы:



5. Энергия связи равна $E = 281 \text{ кДж/моль}$, значит для разложения 1 молекулы необходимо $E_0 = E/N_A = 281 \cdot 10^3 : (6.02 \cdot 10^{23}) = 4.668 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

6. Из данного в условии соотношения:

$$\lambda = \frac{hc}{E_0} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \cdot 2.998 \cdot 10^8}{4.668 \cdot 10^{-19}} = 4.26 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 426 \text{ нм}.$$

7. Масса радикала CN равна $m_0 = M/N_A = 4.319 \cdot 10^{-23} \text{ г} = 4.319 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.

Закон сохранения энергии: $E_{\text{кванта}} = E_{\text{разрыва связи}} + 2E_{\text{кинет}}$.

$$\frac{hc}{\lambda} = E_0 + 2 \frac{mv^2}{2} = E_0 + mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{\frac{hc}{\lambda} - E_0}{m_0}} = \sqrt{\frac{6.626 \cdot 10^{-34} \cdot 2.998 \cdot 10^8}{230 \cdot 10^{-9}} - 4.668 \cdot 10^{-19}}{4.319 \cdot 10^{-26}}} = 3030 \text{ м/с}$$

Система оценивания:

1. Энтальпия возгонки без разложения 2 балла, с разложением 3 балла – 5 баллов.

2. Значения 3 мольных долей по 1 баллу – 3 балла.

3. Константа равновесия – 3 балла.

4. 2 структуры по 2 балла – 4 балла.

5. Энергия в джоулях – 3 балла.

6. Длина волны в нм – 3 балла.

7. Масса 1 радикала и выражение для закона сохранения энергии по 1 баллу, расчет скорости 2 балла – 4 балла.