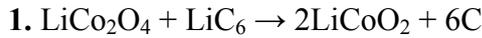


ОДИННАДЦАТЫЙ КЛАСС

Задача 11-1 (Седов И.А.)

Решение



2. Согласно уравнению анодной реакции, при протекании через анод 1 моля электронов, заряд которых составляет $F = 96485$ Кл/моль, расходуется 6 моль графита. Отсюда максимальный заряд при массе графита $m(\text{C}) = 1$ г составляет

$$Q = \frac{m(\text{C}) \cdot F}{M(\text{C}) \cdot 6} = \frac{1 \cdot 96485}{12,011 \cdot 6} = 1339 \text{ Кл} = 371,9 \text{ мА} \cdot \text{ч}$$

3. По условию при массе аккумулятора m электроды имеют массу $0,5m$. Согласно уравнению электрохимической реакции (п. 1), при протекании через анод 1 моля электронов в аккумуляторе расходуется 1 моль LiCo_2O_4 и 1 моль LiC_6 . Очевидно, что заряд будет максимальным, если LiCo_2O_4 и LiC_6 находятся в эквимольном соотношении,

тогда количество моль электронов равно $\nu(e^-) = \frac{0,5 \cdot m}{M(\text{LiCo}_2\text{O}_4) + M(\text{LiC}_6)}$, а

максимальный заряд составляет (с учетом того, что $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot \text{с} = \frac{1000}{3600} \text{ мА} \cdot \text{ч}$):

$$Q = \nu(e^-) \cdot F = \frac{0,5 \cdot m \cdot F}{M(\text{LiCo}_2\text{O}_4) + M(\text{LiC}_6)} = \frac{0,5 \cdot 40 \cdot 96485}{188,805 + 79,006} = 7205 \text{ Кл} = 2002 \text{ мА} \cdot \text{ч}$$

Энергия E равна произведению ЭДС U на заряд: $E = UQ = \frac{2002}{1000} \cdot 3,7 = 7,4 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$

4. Поскольку 1 моль лития принимает 1 моль электронов, то на 1 г кремния приходится

$$\frac{Q}{F} \text{ моль лития, а на 1 моль кремния} - n = \frac{M(\text{Si}) \cdot Q}{F} = \frac{28,086 \cdot 4200}{96485} \cdot \frac{3600}{1000} \approx 4,4 \text{ моля лития.}$$

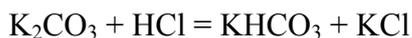
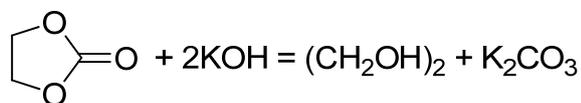
Формула – $\text{Li}_{4,4}\text{Si}$ ($\text{Li}_{22}\text{Si}_5$)

5. Молекулярная масса соли **A** $M = \frac{18,998}{0,7504}n = 25,32n$, где n – число атомов фтора.

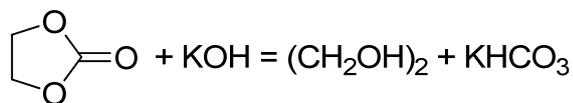
Разумно предположить, что соль **A** содержит литий и имеет формулу $\text{Li}[\text{XF}_n]$, где X – некоторый элемент. На элементы за исключением фтора и одного атома лития приходится масса $6,32n - 6,941$. При $n = 6$ получаем 30,97 – атомная масса фосфора, **A** – $\text{Li}[\text{PF}_6]$, при других целых n от 1 до 8 разумных вариантов нет. Еще один гипотетический вариант – в анион соли входят, помимо фтора и атома X, кислород – формула $\text{Li}[\text{XF}_n\text{O}]$. (Другие элементы, которые могут замещать фтор в составе анионов, например, галогены, имеют слишком большую атомную массу). Тогда $M(\text{X}) = 6,32n - 22,94$. Можно убедиться, что в этом случае тоже нет разумных с химической точки зрения вариантов. **A** – $\text{Li}[\text{PF}_6]$

6. При титровании с фенолфталеином нейтрализуется избыток щелочи, соли же карбоновых кислот и другие слабые основания не оттитровываются. Очевидно, что **В** – сложный эфир или кислота, а потому содержит как минимум 2 атома кислорода.

1 г **В** прореагировал с $0,03 \cdot 1 - 0,0186 \cdot 1 = 0,0114$ моль КОН. Отсюда масса эквивалента (и, вероятнее всего, молярная масса) **В** равна $1 \text{ г} / 0,0114 \text{ моль} \approx 88 \text{ г/моль}$. Предполагая, что атомов кислорода в молекуле 2, по молекулярной массе находим брутто-формулу **В** $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$, однако для этой формулы не существует изомеров с тремя химически эквивалентными атомами углерода и СОО-группой. Если же атомов углерода 3, то формула вещества $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$. Тогда оно должно содержать два эквивалентных метиленовых фрагмента, а значит, **В** – этиленкарбонат, который очень быстро гидролизуется щелочами даже при комнатной температуре до этиленгликоля и карбоната.



Суммарно получаем, что 1 моль этиленкарбоната прореагировал с 1 молем щелочи:



7. При переразрядке происходит полное и необратимое окисление кобальтата лития:



8. $\text{Li}^+ + \text{LiCoO}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{Li}_2\text{O} + \text{CoO}$

Система оценивания:

1. За уравнение реакции 2 балла.
2. За правильный ответ 2 балла.
3. За значение заряда 2 балла и энергии 1 балл, всего 3 балла.
4. За правильный состав 2 балла.
5. За формулу 3 балла.
6. За формулу 4 балла.
7. За уравнение реакции 2 балла.
8. За уравнение реакции 2 балла.

ИТОГО – 20 баллов

Источники информации:

Journal of Solid State Electrochemistry, 2008, V.12, p.149. (<http://dx.doi.org/10.1007/s10008-007-0373-6>)

J. Phys. Chem. C., 2009, V.113, p.11390. (<http://dx.doi.org/10.1021/jp901594g>)

http://www.gpbatteries.com/html/pdf/Li-ion_handbook.pdf

Задача 11-2 (Сальников О. Г., Ильин М. А.)

Решение

1–2. Поскольку соединения **В** и **Г** являются бинарными и образуются при взаимодействии **А** с хлором, можно предположить, что **В** и **Г** – хлориды элемента **Х**, а соединение **А** – простое вещество, образованное атомами **Х**. Тогда и соединение **Б** тоже простое, следовательно **А** и **Б** – аллотропные модификации. Аллотропная модификация **А** красного, **Б** – желтоватого цвета; использование соединений **Х** в качестве минеральных удобрений, синтетических моющих и водоумягчительных средств, медикаментов, зубных цементов и многих других промышленно важных продуктов – всё это позволяет предположить о том, что элемент **Х** – фосфор.

Если анализ условия задачи сразу не позволил сделать выбор в пользу фосфора, можно рассчитать значение атомной массы неизвестного элемента. Обозначим формулы хлоридов **В** и **Г** в виде XCl_n и XCl_m соответственно (причем $n < m$, поскольку использовался недостаток и избыток хлора). Пусть атомная масса элемента **Х** – $A_r(\text{X})$, тогда, учитывая что массовое содержание **Х** в соединении **В** в 1,516 раз меньше, чем в **Г**, составим и решим уравнение:

$$\frac{A_r(\text{X})}{A_r(\text{X}) + 35,45 \cdot n} = 1,516 \cdot \frac{A_r(\text{X})}{A_r(\text{X}) + 35,45 \cdot m};$$

$$A_r(\text{X}) + 35,45 \cdot m = 1,516 \cdot A_r(\text{X}) + 53,74 \cdot n;$$

$$A_r(\text{X}) = 68,70 \cdot m - 104,1 \cdot n.$$

Перебирая различные целочисленные значения n и m , получаем единственный разумный вариант при $n = 3$ и $m = 5$, $A_r(\text{X}) = 31,20$ а. е. м., что очень близко к атомной массе фосфора.

Таким образом, **А** – красный фосфор; **Б** – белый фосфор; **В** – пентахлорид фосфора (хлорид фосфора (V)), PCl_5 ; **Г** – трихлорид фосфора (хлорид фосфора (III)), PCl_3 .

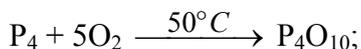
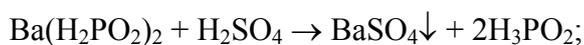
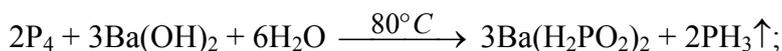
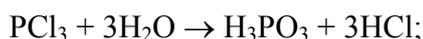
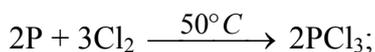
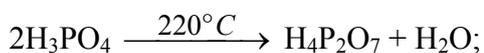
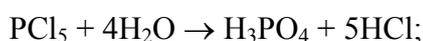
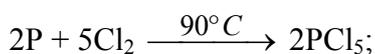
При гидролизе PCl_5 образуется ортофосфорная кислота (H_3PO_4 , кислота **I**), которая при нагревании превращается в кислоту, содержащую два атома фосфора – дифосфорную кислоту (пирофосфорную кислоту, $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, **II**).

Гидролиз PCl_3 приводит к образованию кислоты, содержащий фосфор в той же степени окисления (+3), т. е. фосфористой кислоты (фосфоновой кислоты, H_3PO_3 , **III**).

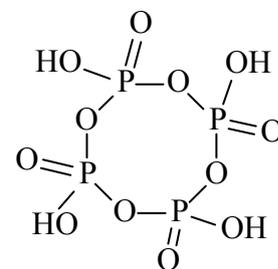
При взаимодействии белого фосфора с водным раствором щёлочи при нагревании происходит реакция его диспропорционирования, основными продуктами которой являются фосфин и гипофосфит (фосфинат) бария $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$. Обработкой гипофосфита бария раствором серной кислоты получают фосфорноватистую (фосфиновую, гипофосфористую) кислоту (H_3PO_2 , **IV**).

При сжигании фосфора в избытке кислорода образуется оксид фосфора (V) (P_2O_5 (P_4O_{10}), **Д**). При осторожном гидролизе P_4O_{10} ледяной водой образуется метафосфорная кислота. Учитывая, что в молекуле кислоты **V** четыре атома фосфора, **V** – тетраметафосфорная кислота, $(\text{HPO}_3)_4$.

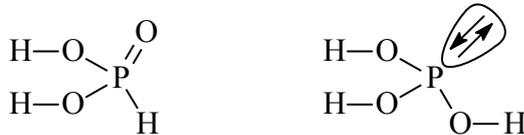
Уравнения реакций, представленных на схеме:



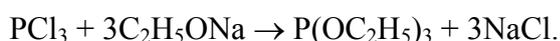
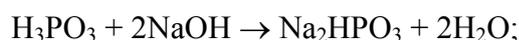
3. Структурная формула кислоты **V**, содержащей в молекуле четыре атома фосфора, входящих в состав восьмичленного цикла, представлена справа.



4. Структурные формулы таутомерных форм фосфористой кислоты:



Уравнения реакций взаимодействия избытка гидроксида натрия с фосфористой кислотой и избытка этилата натрия с PCl_3 :

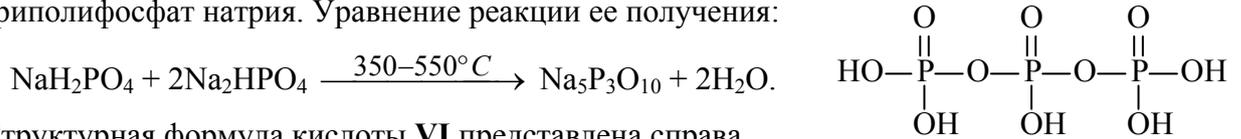


5. Формулы кислых натриевых солей ортофосфорной кислоты – NaH_2PO_4 и Na_2HPO_4 . Средняя соль кислоты **VI** получается при нагревании смеси NaH_2PO_4 и Na_2HPO_4 . Как и сама кислота **VI**, соль **E** содержит три атома фосфора. Следовательно, NaH_2PO_4 и

Na_2HPO_4 реагируют в соотношении 2 : 1 или 1 : 2. Запишем «брутто-формулы» соответствующих смесей:

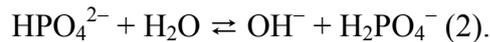
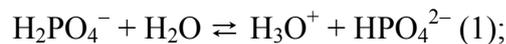


Заметим, что в случае (1) число атомов водорода нечётное, следовательно, не может выполняться условие о том, что при получении **E** воды по молям образуется в два раза больше, чем соли (**E** не содержит в своем составе атомов водорода). В случае (2) четыре атома водорода, что полностью согласуется с условием задачи. Соль **E** – $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, триполифосфат натрия. Уравнение реакции ее получения:



Структурная формула кислоты **VI** представлена справа.

6. Водный раствор смеси NaH_2PO_4 и Na_2HPO_4 представляет собой буферный раствор, образованный сопряженной парой кислота / основание ($\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-}$). Запишем уравнения основных процессов, происходящих при этом в растворе:



Константа равновесия (1) является константой диссоциации ортофосфорной кислоты по второй ступени:

$$K_{a2} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} \approx 7 \cdot 10^{-8}.$$

Выразим из выражения для K_{a2} концентрацию $[\text{H}_3\text{O}^+]$ и, прологарифмировав полученное выражение, запишем выражение для pH:

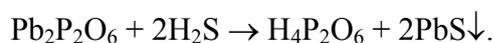
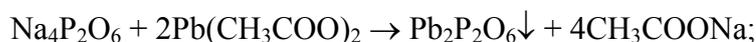
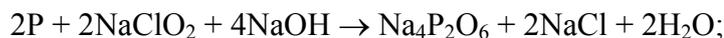
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_{a2} \cdot \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]} \Rightarrow \lg[\text{H}_3\text{O}^+] = \lg K_{a2} + \lg \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]} \Rightarrow \text{pH} = \text{p}K_{a2} + \lg \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}.$$

(Это же выражение можно также получить путём преобразования выражения для константы равновесия процесса (2)).

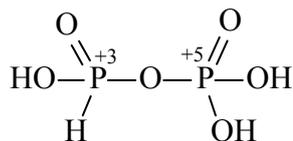
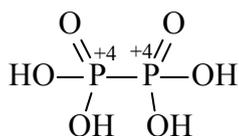
Заметим, что оба равновесия сильно сдвинуты влево, поскольку в растворе находятся достаточные количества как дигидрофосфат-, так и гидрофосфат-ионов. Следовательно, в первом приближении можно считать, что $[\text{HPO}_4^{2-}] \approx [\text{Na}_2\text{HPO}_4]$ и $[\text{H}_2\text{PO}_4^-] \approx [\text{NaH}_2\text{PO}_4]$. Соотношение $[\text{Na}_2\text{HPO}_4] / [\text{NaH}_2\text{PO}_4] = 2$, тогда:

$$\text{pH} \approx -\lg(7 \cdot 10^{-8}) + \lg \frac{[\text{Na}_2\text{HPO}_4]}{[\text{NaH}_2\text{PO}_4]} \approx 7,2 + \lg 2 \approx 7,5.$$

7. В молекуле кислоты **VII** содержится на один атом кислорода меньше, чем в дифосфорной кислоте. Следовательно, молекулярная формула кислоты **VII** – $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6$.
Уравнения реакций:



8. Структурные формулы изомеров:



Система оценивания:

1. Элемент **X** (подтверждённый расчётом) – 0,5 балла

Формулы **B–D** и кислот **I–V** – $0,5 \times 8 = 4$ балла

Названия кислот **I–V** – $0,5 \times 5 = 2,5$ балла

2. Уравнения реакций, приведенных на схеме) – $0,5 \times 9 = 4,5$ балла

3. Структурная формула кислоты **V** – 0,5 балла

4. Структурные формулы таутомеров кислоты **III** – $0,5 \times 2 = 1$ балл

Уравнения реакций – $0,5 \times 2 = 1$ балл

5. Формула соли **E** – 0,5 балла

Название соли **E** – 0,5 балла

Уравнение реакции – 0,5 балла

Структурная формула кислоты **VI** – 0,5 балла

6. Оценка значения pH – 1 балл

7. Формула кислоты **VII** – 0,5 балла

Уравнения реакций – $0,5 \times 3 = 1,5$ балла

8. Структурные формулы изомеров кислоты **VII** – $0,5 \times 2 = 1$ балл

ИТОГО – 20 баллов

Задача 11-3 (Ерёмин В. В.)

Решение

1. Длина связи – это межъядерное расстояние, при котором энергия минимальна. Для Ar_2 – это $3.8 \text{ \AA} = 0.38 \text{ нм}$. Энергия связи – глубина энергетического минимума: $E(\text{Ar}-\text{Ar}) = 100 \text{ см}^{-1} = 1.2 \text{ кДж/моль}$. Ван-дер-ваальсов радиус равен половине длины связи, то есть $1.9 \text{ \AA} = 0.19 \text{ нм}$.

2. Энергия молекулы меньше энергии атомов, следовательно реакция идет с выделением теплоты, $\Delta H^\circ < 0$. Из двух молекул газа получается одна, значит энтропия уменьшается: $\Delta S^\circ < 0$. Равновесие смещено влево – это означает, что $K_p \ll 1$, поэтому $\Delta G^\circ > 0$. Энергия Гиббса положительна, а энтальпия отрицательна. Основной положительный вклад в энергию Гиббса вносит энтропийный фактор $-T\Delta S$.

3. Реакция – экзотермическая и идет с уменьшением объема. По принципу Ле Шателье, для смещения равновесия вправо надо уменьшить температуру и увеличить давление.

4. $\nu(\text{Ar}) = 3.995 / 39.95 = 0.1000$ моль. Пусть образовалось x моль димера Ar_2 , тогда Ar осталось $(0.1-2x)$ моль, всего газов – $(0.1-x)$ моль.

$$\nu = \frac{pV}{RT}$$

$$0.1 - x = \frac{(0.8225 \cdot 100) \cdot 3.000}{8.3144 \cdot 298.15} = 0.09954$$

$$x = 4.6 \cdot 10^{-4}$$

$$p(\text{Ar}_2) = x/(0.1-x) \cdot p = 3.8 \cdot 10^{-3} \text{ бар},$$

$$p(\text{Ar}) = p - p(\text{Ar}_2) = 0.8187 \text{ бар}.$$

$$K_p = \frac{\frac{p(\text{Ar}_2)}{1 \text{ бар}}}{\left[\frac{p(\text{Ar})}{1 \text{ бар}} \right]^2} = \frac{0.0038}{0.8187^2} = 5.67 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_p = 12.8 \text{ кДж/моль}.$$

Энтальпия реакции равна энергии связи с обратным знаком: $\Delta H^\circ = -1.2 \text{ кДж/моль}$.

$$\Delta S^\circ = \frac{\Delta H^\circ - \Delta G^\circ}{T} = \frac{-1200 - 12800}{298} = -47 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

5. С увеличением размера атома инертного газа его поляризуемость увеличивается и ван-дер-ваальсово взаимодействие между атомами растет, следовательно должна увеличиваться энергия связи. Это и наблюдается в действительности.

Система оценивания:

1. 3 балла (по одному за каждый ответ)

2. 5 баллов (по одному за энтропию, энтальпию и энтропийный эффект, 2 за энергию Гиббса. Правильный ответ без объяснения – 0 баллов)

3. 2 балла (по 1 баллу за каждый ответ)

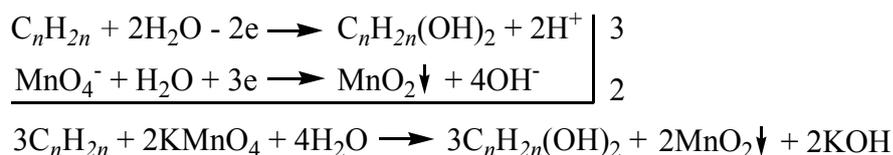
4. 9 баллов (4 за константу равновесия, 1 – за энергию Гиббса, по 2 за энтальпию и энтропию).

5. 1 балл (только за ответ с объяснением)

ИТОГО – 20 баллов

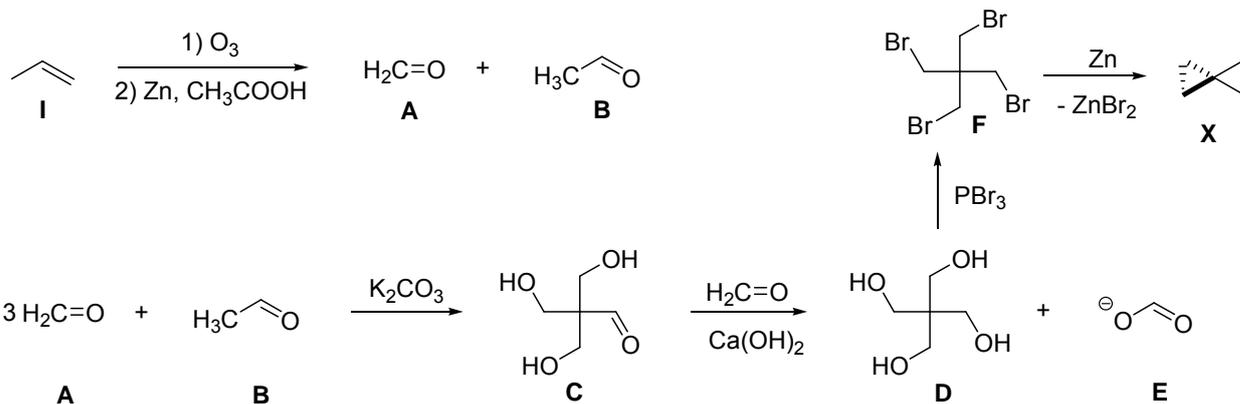
Задача 11-4 (Бахтин С. Г.)

1. Представим простейшую формулу **I** как C_xH_y . $x : y = (85.71/12) : (14.29/1) = 7.14 : 14.29 = 1 : 2$; формула C_nH_{2n} . Это – алкен, т.к. циклические насыщенные углеводороды не взаимодействует с раствором перманганата калия на холоду. При взаимодействии алкенов с $KMnO_4$ (H_2O , $0^\circ C$) происходит их окисление до диолов; коричневый осадок – оксид марганца (IV) MnO_2 .



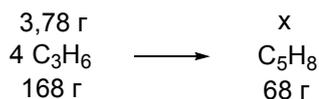
Теперь, исходя из пропорции по массам, находим, что $n = 3$. То есть **I** – пропен, $CH_3CH=CH_2$.

2. При восстановительном озонлизе **I** образуются формальдегид (**A**) и ацетальдегид (**B**). Получение **X** из **D** не изменяет числа атомов углерода в молекуле. Тогда **D**, **F** а по условию и **C**, также содержат пять атомов углерода. Формальдегид и ацетальдегид вступают в реакцию конденсации в щелочной среде. Формальдегид более активен как карбонильное соединение (донорная метильная группа в уксусном альдегиде уменьшает положительный заряд на карбонильном атоме углерода) и не содержит α -атомов водорода. То есть **A** выступает в роли карбонильной компоненты, а **B** – в роли метиленовой. Чтобы полученное соединение содержало пять атомов углерода, они должны прореагировать в соотношении 3 : 1 либо 1 : 2. Второй вариант в данном случае не годится. Напротив, в ацетальдегиде в метильной группе имеется три атома водорода, поэтому возможно взаимодействие с тремя молекулами формальдегида. Полученный продукт **C** в сильнощелочной среде взаимодействует с формальдегидом (конденсация Канниццаро); при этом формальдегид окислится до формиат-аниона, а альдегидная группа **C** восстановится до спиртовой с образованием пентаэритрита **D**. Теперь можно написать схему синтеза **X**:



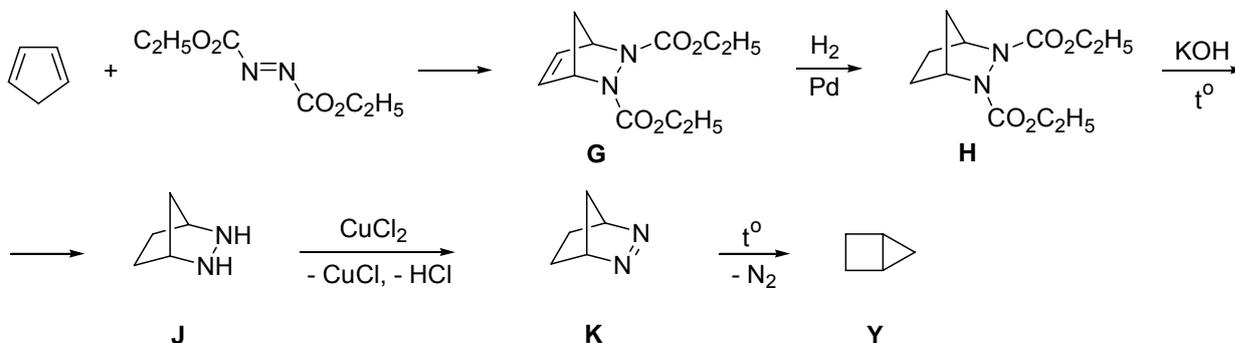
В углеводороде **X** все атомы водорода эквивалентны. (Это условие позволяет написать формулу **X**, даже не разобрав цепочку с ее начала. Более того, зная формулу **X**, можно предположить формулу соединений **F** и **D**.)

3. Для получения одной молекулы **X** по предложенной схеме требуется четыре молекулы формальдегида: три необходимы для синтеза **C**, а четвертая используется в конденсации Канниццаро. Поскольку других источников формальдегида у нас нет (используется только предложенная схема), потребуется четыре молекулы **I**. Итак:



Отсюда находим, что $x_{теор} = 1.53 \text{ г}$, а с учетом 80 %-ого выхода $x_{прак} = 1.224 \text{ г}$.

4. Взаимодействие циклопентадиена с диэтиловым эфиром азодикарбоновой кислоты по реакции Дильса–Альдера приводит к образованию **G**, гидрирование которого дает **H**. Поскольку на схеме углеводород **Y** образуется из **K** с отщеплением только азота, соединение **K** имеет формулу $\text{C}_5\text{H}_8\text{N}_{2n}$. Учитывая, что **K** образуется из **G**, $n = 1$. Далее, **K** образуется окислением **J** (реакция **J** с хлоридом меди(II) сопровождается отщеплением хлорида меди(I) и хлороводорода). То есть **J** содержит только углерод, водород и азот. Следовательно, на стадии образования **J** происходит не только гидролиз фрагмента карбамата – $\text{NCO}_2\text{C}_2\text{H}_5$, но и декарбоксилирование. Схема превращений имеет вид:



5. Другие изомеры C_5H_8 , не содержащие кратных связей, имеют следующие структурные формулы.



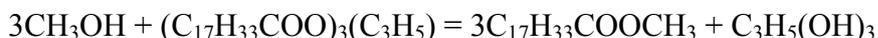
Система оценивания:

1. За простейшую и структурную формулы и за уравнение реакции – по 1 баллу. Всего 3 балла.
2. 7 структурных формул по 1 баллу. Всего 7 баллов.
3. 2 балла.
4. 5 структурных формул по 1 баллу, Всего 5 баллов.
5. По 1 баллу за структуру, всего 3 балла.

ИТОГО – 20 баллов

Задача 11-5 (Можаров С. А., Нехорошев Е. Е.)

1. Ископаемое топливо (уголь, природный газ, нефть) представляет собой остатки организмов, которые извлекали CO_2 из атмосферы Земли в течение сотен миллионов лет. Сжигание такого топлива означает обратный перенос углерода из земли в атмосферу и сопровождается увеличением концентрации CO_2 в воздухе. Биотопливо обеспечивает более быстрый круговорот углерода: он поглощается из атмосферы в виде CO_2 , превращается в масло, которое сразу выделяется, перерабатывается, поставляется потребителю, сжигается, и выделяемый при этом углекислый газ снова поглощается водорослями. Таким образом, цикл биосинтеза-сжигания биотоплива не увеличивает содержания CO_2 в воздухе, и может лишь вызвать незначительные циклические колебания его концентрации.
2. Масла представляют собой сложные эфиры жирных кислот и глицерина. Уравнение реакции переэтерификации для триглицерида олеиновой кислоты выглядит следующим образом:



3. Побочным продуктом реакции переэтерификации является глицерин (вещество **A**).

Синтез-газ – это смесь CO и H_2 .

Реакции, участвующие в переработке глицерина:

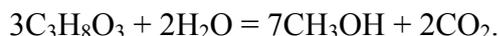


Для получения суммарного уравнения синтеза метанола, исходя из этих трех реакций, можно воспользоваться различными способами. Необходимо добиться того, чтобы в

правой части суммарной реакции не было компонентов синтез-газа. Один из способов решения –сбалансировать реакции (1) и (3) так, чтобы мольное отношение $\text{CO}:\text{H}_2$ в синтез-газе изменилось с 3:4 (после реакции 1) на 1:2 (необходимое для реакции 2). Согласно реакции (3) введение в систему x моль H_2O убирает из газовой смеси x моль CO и добавляет x моль H_2 :

$$\frac{3-x}{4+x} = \frac{1}{2}$$

Решение уравнения $x = 2/3$. Следовательно, реакцию (3) следует умножить на $2/3$, сложить с реакцией (1) и сбалансировать полученный результат с реакцией (2). Суммарное уравнение:



4. Молярная масса триглицерида олеиновой кислоты равна 884 г/моль, молярная масса метилолеата – 296 г/моль. Эквивалентное соотношение масс метилолеата к триглицериду равно $(296 \times 3)/884 = 1,0045$. В дальнейших оценочных расчетах таким отличием можно пренебречь. Будем считать, что масса биодизеля равна исходной массе выделенного масла.

За 1 день на 1 м^2 в пустыне Сахаре можно получить следующую массу биотоплива:

$$m = [\text{производительность}] \times [\text{выход}] \times [\text{содержание масла}] = 200 \cdot 0,2 \cdot 0,33 = 13,2 \text{ (г)}$$

Ежедневное мировое потребление топлива согласно условию – 10 миллионов тонн, или 10^{13} г. Для производства такого количество биодизеля необходимо $10^{13} / 13,2 = 7,58 \cdot 10^{11} \text{ (м}^2\text{)}$, или $7,58 \cdot 10^5 \text{ км}^2$.

С участка площадью 1 га африканская семья может производить каждый месяц: $13,2 \text{ (г} \cdot \text{день}^{-1} \cdot \text{м}^2\text{)} \times 10000 \text{ (м}^2\text{)} \times 30 \text{ (дней)} = 3,96 \cdot 10^6 \text{ (г)}$, или 3960 кг биодизеля. Это соответствует заработку $0,2 \times 3960 = 792$ доллара в месяц (около 24000 рублей).

5. Площадь, необходимая для полного обеспечения человечества жидким топливом составляет лишь 8 % от площади Сахары ($7,58 \cdot 10^5 \times 100\% / 9,4 \cdot 10^6 = 8\%$). Даже если принять во внимание оценочный характер приведенных расчетов, которые не учитывают энергетических затрат на производство и переработку масла, создание заводов и транспортной инфраструктуры, полученные цифры по доходности и необходимой площади делают идею вполне реалистичной.

В ближайшем будущем следует ожидать увеличения производительности благодаря техническим инновациям, а также активным научным исследованиям в области геномной инженерии, направленных на получение новых видов водорослей.

6. По сравнению с бразильским биоэтанолом эффективность производства биодизеля в пустыне Сахара выше в: $\frac{13,2 \times 10^4 \times 365}{5,5 \cdot 10^6} = 8,8$ раз.

Система оценивания

1. Объяснение уменьшения выбросов CO₂ – 3 балла
2. Уравнение реакции переэтерификации – 3 балла
3. Реакции, участвующие в переработке глицерина – по 2 балла (всего 3 реакции).
Суммарное уравнение реакции – 3 балла. Всего 9 баллов.
4. Расчет площади – 2 балла. Оценка заработка африканской семьи – 1 балл. Всего 3 балла.
5. Любое обоснованное рассуждение о реалистичности применения биодизеля – 1 балл
(здесь оценивается только способность делать вывод, обоснованный полученными при решении данными, даже если эти данные являются ошибочными)
6. Сравнение эффективностей – 1 балл

ИТОГО – 20 баллов