

## Одиннадцатый класс

### Решение задачи 11-1 (автор: Серяков С.А.)

1. Ряд «кириллических» элементов, не относящихся к благородным газам, лантаноидам и радиоактивным элементам не столь широк: Н, В, С, О, Р, К, Са, Мп, Со, Мо, Тс, Те, Ва, Та, Ро. Судя по описанию, оба элемента являются неметаллами, поскольку оксиды  $K_1$  и  $M_1$  полученные при обжиге  $A$  в кислороде, проявляют кислотные свойства, образуя кислородсодержащие кислоты  $K_2$  и  $M_2$ .

Определим, о каких именно элементах идет речь, по информации об условиях синтеза и составе  $B$ . Большинство кислородсодержащих кислот содержат ровно 1 атом образующего их элемента на 1 молекулу кислоты. Это означает, что при упаривании эквимольной смеси кислот стоит ожидать, что в составе  $B$  количество  $1$  и  $2$  элементов будет одинаково. Обратимся к структуре вещества  $B$ : по условию она напоминает кварц, это может означать что формула продукта будет  $Э_1Э_2O_4$  – с чередующимися по позициям кремния атомами элементов  $1$  и  $2$ . В таком случае мы можем оценить молярную массу соединения, определив массовую долю кислорода как недостающую до 100% от суммы массовых долей  $1$  и  $2$ :

$$M(Э_1Э_2O_4) = 15.999 \cdot 4 / (1 - 0.102 - 0.293) = 105.78 \text{ г/моль.}$$

Вычислим молярные массы  $1$  и  $2$ :

$$M(Э_1) = 0.102 \cdot 105.78 = 10.79 \text{ г/моль} \quad (1 - \text{это бор}),$$

$$M(Э_2) = 0.293 \cdot 105.78 = 30.99 \text{ г/моль} \quad (2 - \text{это фосфор}).$$

2. Определим состав веществ  $A$  и  $K_3$ . Для  $A$  выразим сколько г/моль в его составе приходится на другие элементы, если число атомов бора будет  $n$ :

$$\Delta M = (10.811/0.259 - 10.811) \cdot n = 30.93 \cdot n,$$

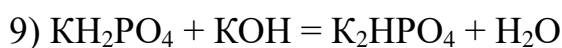
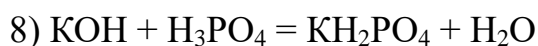
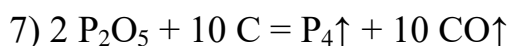
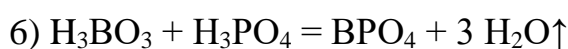
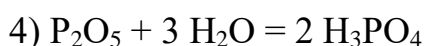
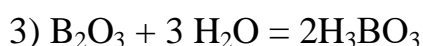
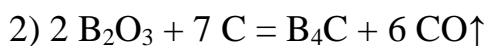
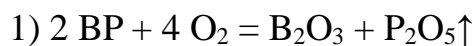
откуда следует вывод, что помимо бора  $A$  содержит равное количество атомов фосфора  $A = BP$ . Это вполне согласуется со структурой сфалерита: позиции бора (катионная подрешетка) совпадают с позициями цинка, а фосфор занимает позиции серы (анионная подрешетка).

Проведем аналогичную процедуру для  $K_3$ :

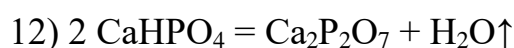
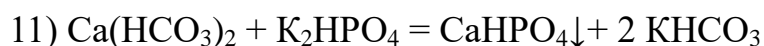
$$\Delta M = (10.811/0.783 - 10.811) \cdot n = 3.00 \cdot n,$$

приняв к сведению возможный избыток углерода сделаем вывод о том, что  $n = 4$  и  $K_3$  – карбид бора  $B_4C$ .

**Уравнения реакций:**

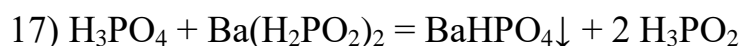
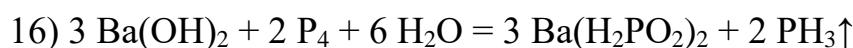
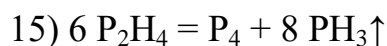
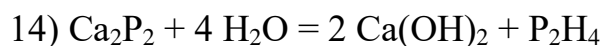
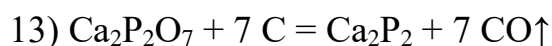


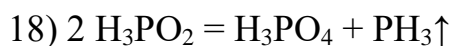
Состав  $M_6$  определяется по соотношению  $K : P$ . Вещество  $M_6$  используют в качестве среды, из которой выращивают кристаллы при  $\sim 900C$ , благодаря его способности растворять оксиды металлов.



В реакции 11 допустимо писать  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ , недопустимо среднюю соль, поскольку по третьей ступени  $H_3PO_4$  очень слабая кислота и не вытеснит  $CO_2$  из гидрокарбоната.

Кальций образует большое количество фосфидов различного состава, но поскольку, по условию, в реакции 13 образуется единственный твердый продукт, в образующемся фосфиде соотношение  $Ca : P$  сохраняется:





В реакции 17 средняя соль недопустима так как  $\text{H}_3\text{PO}_2$  – более сильная кислота чем  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . В реакции 15 иной состав продуктов, по сравнению с 18, это позволяет сделать вывод о различии в составе  $\text{M}_{14}$  и  $\text{M}_{10}$ . При гидролизе обычно степени окисления не меняются, что позволяет определить формулу  $\text{M}_{14}$  из состава  $\text{Ca}_2\text{P}_2$ .

3. В «классической» реакции 17 для осаждения бария используют серную кислоту, в реакции 11 в качестве растворимой соли применяют хлорид или нитрат кальция - гидрокарбонат не возьмешь с полки.

**Система оценивания:**

1	элементы 1 и 2 с обоснованием по 0.5 балла	1 балл
2	уравнения 18 химических реакций по 1 баллу	18 баллов
3	комментарии по «импортозамещению» в любой реакции	1 балл
<b>Итого:</b>		<b>20 баллов</b>

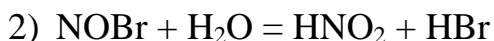
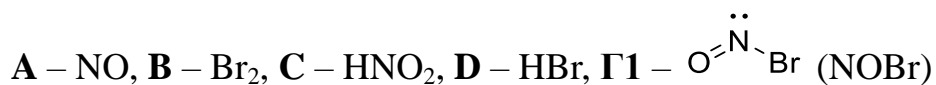
**Решение задачи 11-2 (автор: Швед А.М.)**

1. Диапазоны длин волн:

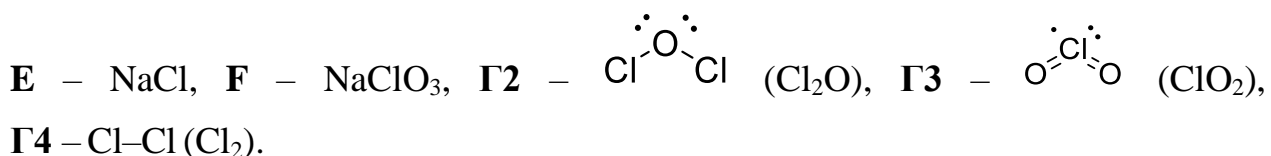
	380	440	485	500	565	590	625	780	$\lambda$ , нм
УФ		фиолетовый	синий	голубой	зелёный	жёлтый	оранжевый	красный	ИК

2. Упоминание о красно-бурой жидкости позволяет предположить, что **В** – это бром ( $\text{Br}_2$ ), реагирующий с газом **А**, вероятно, в соотношении 1:2 или 2:1, т.к. реакция третьего порядка. К бесцветным газам относятся прежде всего некоторые простые вещества ( $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ , благородные газы), водородные соединения неметаллов и их некоторые оксиды ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ). Из этого списка отлично удовлетворяет условию только  $\text{NO}$ , который в соотношении 2:1 реагирует уже при комнатной температуре с  $\text{Br}_2$  с образованием нитрозилбромида ( $\text{NOBr}$ ) – *красно-бурого* газа, который

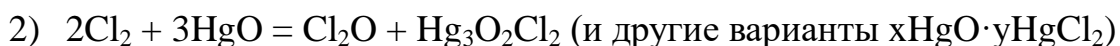
конденсируется при температуре чуть ниже комнатной, а при гидролизе даёт, соответственно, слабую азотистую ( $\text{HNO}_2$ ) и сильную бромоводородную ( $\text{HBr}$ ) кислоты.



3. Электролиз раствора широко используемой в быту соли **Е**, в результате чего образуется *зелёно-жёлтый* газ **Г4** – это явно способ получения хлора ( $\text{Cl}_2$ ) из хлорида натрия ( $\text{NaCl}$ ). Данный процесс ведут с диафрагмой, разделяющей катодное и анодное пространство, иначе выделяющийся на аноде хлор будет постепенно реагировать с образующейся в катодном пространстве щёлочью, приводя в итоге к хлорату натрия ( $\text{NaClO}_3$ ). Взаимодействие хлора с оксидом ртути – это способ получения оксида хлора (I), т.е.  $\text{Cl}_2\text{O}$  – *оранжево-жёлтого* газа, имеющего плотность выше, чем у  $\text{Cl}_2$ . Тогда газом **Г3**, имеющим такой же качественный состав, как и **Г2**, но обратное соотношение атомов в молекуле должен быть диоксид хлора ( $\text{ClO}_2$ ), который действительно имеет *жёлтую* окраску, легче хлора и образуется при восстановлении хлората калия сернистым газом в кислой среде.



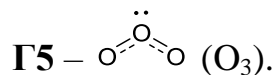
1)  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2$  (электролиз раствора с диафрагмой)



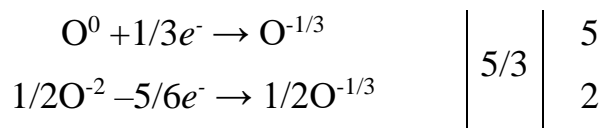
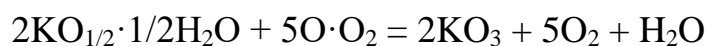
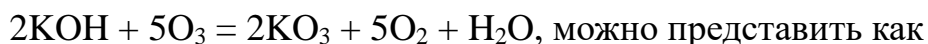
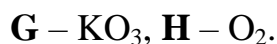
4. Главным образом диоксид хлора  $\text{ClO}_2$  применяют в качестве отбеливающего вещества (например, при производстве бумаги, муки), а также для обеззараживания воды.

5. Газ *голубого* цвета **Г5**, о котором идёт речь в данной части задачи, можно однозначно определить по описанию. При пропускании через воздух

электрического разряда можно ожидать образование озона из кислорода или оксида азота (II) из азота и кислорода. Именно озон имеет слабую голубую окраску (NO – бесцветный, к тому же был в задаче ранее), является сильным окислителем, а со щелочными металлами образует солеобразные озониды.



6. Как уже обозначалось ранее, солеобразные соединения озона со щелочными металлами – это озониды, т.е. **G** – озонид калия. Из простых веществ на роль **H** больше всего подходит кислород, который часто выделяется в реакциях с участием озона.

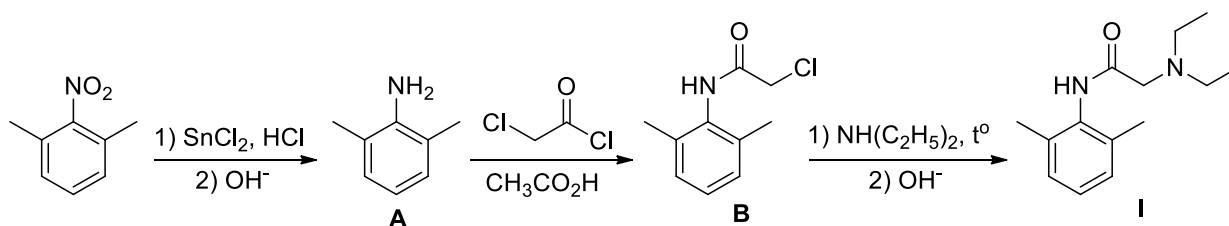


7. Для написания структурных формул веществ в большинстве случаев достаточно следовать цепочке, «прибавляя» к исходному веществу реагент и/или «вычитая» побочный продукт. Так, первая реакция представляет собой замещение иона серебра в его трифторацетате на нитрозил, в результате чего получается CF<sub>3</sub>COONO – трифторацетилнитрит **I**. Его нагревание приводит к потере диоксида углерода и образованию трифторнитрозометана (CF<sub>3</sub>NO) – газа синего цвета **Г6**. По условию **K** – производное гидроксиламина, следовательно, оно содержит минимум один атом азота, а т.к. оно образуется из **J** по факту заменой NO-группы на H, можно предполагать, что **K** – дизамещённый гидроксиламин (CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NOH, а **J** – продукт димеризации **Г6**, представляющий собой O-нитрозобис(трифторметил)гидроксиламин (CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NONO. Из относительной плотности **Г7** по **Г6** можно определить молярную массу **Г7**:  $M(\Gamma 7) = 1.70 \cdot M(\Gamma 6) = 1.697 \cdot 99 = 168$  (г/моль), что соответствует формуле (CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NO. Такой формуле может соответствовать лишь радикальная частица, что подтверждается образованием аддукта с NO уже



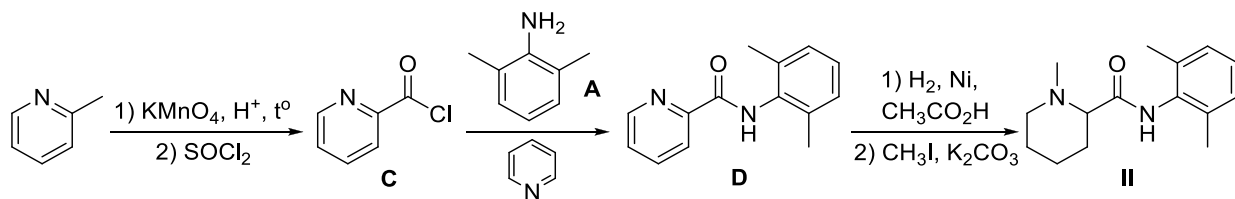
### Решение задачи 11-3 (автор: Зима А.М.)

1. Вещество **A** представляет собой продукт восстановления 1,3-диметил-2-нитробензола дихлоридом олова в кислой среде с последующей нейтрализацией образующейся соли. Полученный ароматический амин **A** ацилируют хлорангидридом хлоруксусной кислоты с образованием продукта **B**. Вывод о том, что идёт ацилирование, а не алкилирование, можно сделать, внимательно посмотрев на аналогичную реакцию в схеме получения Ультракаина, структура которого указана в условии, а также исходя из общих представлений о реакционной способности аминов. При этом вариант протекания обеих реакций не подходит, поскольку в этом случае непонятно, что будет происходить на следующей стадии синтеза. Далее вещество **B** реагирует с диэтиламино при нагревании, в результате чего образуется гидрохлорид Лидокаина, который после нейтрализации превращается в целевой продукт **I**.

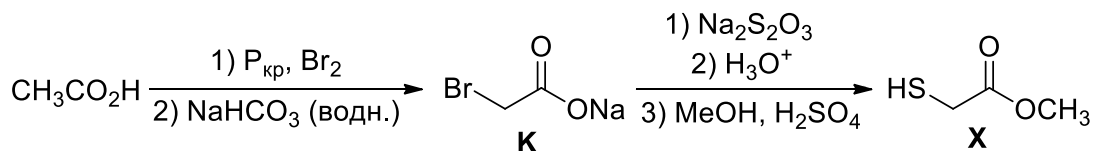


В синтезе Скандонеста на первой стадии происходит окисление метильной группы  $\alpha$ -пиколина с образованием  $\alpha$ -пиколиновой кислоты, взаимодействие которой с хлористым тионилем приводит к получению хлорангидрида **C**. Далее **C** ацилирует замещенный анилин **A**, давая продукт **D**. Восстановление **D** водородом в присутствии никелевого катализатора приводит к гидрированию пиридинового кольца, ароматическое кольцо фрагмента анилина при этом остается неизменным. Догадаться до этого можно, руководствуясь электронными эффектами (более электронодефицитное пиридиновое кольцо восстанавливается быстрее) и подсказкой о родственном строении Скандонеста и Лидокаина. На последней стадии происходит метилирование аминогруппы пиперидинового фрагмента с образованием **II** (продукт диметилирования не подходит, так как

не может давать гидрохлорид).



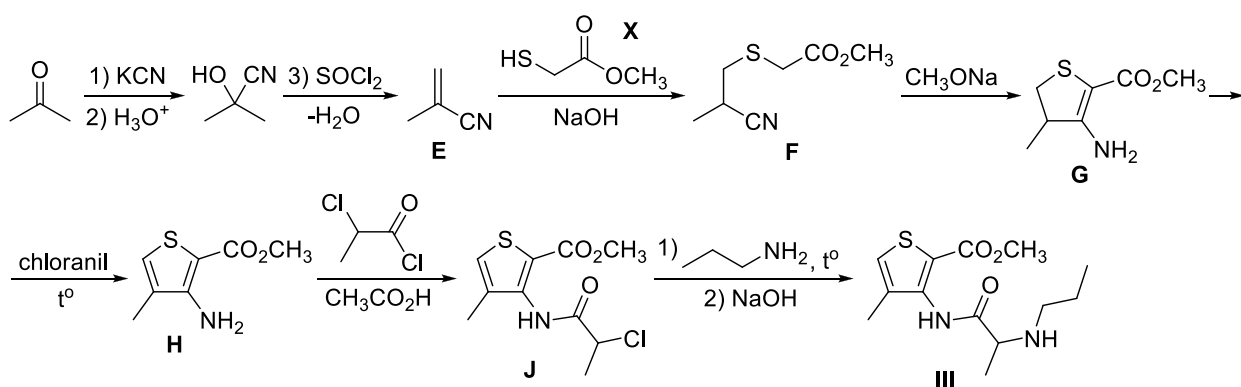
2. Вначале определим строение вещества **X**. На первой стадии синтеза **X** происходит бромирование уксусной кислоты в  $\alpha$ -положение (реакция Гелля–Фольгарда–Зелинского). Под действием водного раствора гидрокарбоната натрия полученное вещество превращается в натриевую соль бромуксусной кислоты **K**. Затем под действием тиосульфата натрия происходит замена атома брома в **K** на тиольную группу, после чего полученная кислота этерифицируется с образованием вещества **X**. Структуру **X** также можно однозначно определить по заданной в условии брутто-формуле (изомерные соединения с таким же составом не могут образоваться в результате использующихся в синтезе реакций, а также не дадут вещество **III** на последующих стадиях).



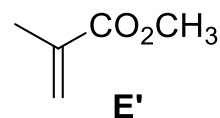
Под действием цианида калия с последующим подкислением реакционной смеси из ацетона образуется ацетонциангидрин, который затем дегидратируется под действием тионилхлорида, превращаясь в метакрилонитрил **E**. Далее в присутствии щелочи происходит нуклеофильное присоединение замещенного тиола **X** к активированной двойной связи метакрилонитрила с образованием продукта **F**. О направлении присоединения можно сделать вывод исходя из распределения электронной плотности в соединении **E** (за счёт сильных электроноакцепторных свойств цианогруппы на атоме углерода группы  $\text{CH}_2$  сосредоточен частичный положительный заряд) или из приведенной в условии структуры Ультракаина, в которой явным образом видны фрагменты различных соединений в составе тиофенового цикла, использовавшихся в ходе его синтеза. На следующей



стадии под действием основания осуществляется внутримолекулярная конденсация (похожая по механизму на конденсации Дикмана и Торпа-Циглера), о чем можно догадаться на основании брутто-формулы **G**, а также наличия тиофенового цикла в составе Ультракаина. Поскольку молекула несимметрична и возможны два варианта конденсации, окончательный выбор структуры **G** следует сделать по известной структуре Ультракаина, в которой содержится тиофеновый цикл. Как видно из строения, хлоранил представляет собой хинон, поэтому он может выступать в реакциях как умеренный окислитель. В данном случае хлоранил был использован для дегидрирования пятичленного цикла с образованием вещества **H**, содержащего ароматический тиофеновый фрагмент. Далее **H** ацилируется хлорангидридом 2-хлорпропионовой кислоты с образованием вещества **J** (о протекании именно ацилирования, а не алкилирования, можно догадаться по структуре Ультракаина). На заключительной стадии происходит нуклеофильное замещение атома хлора в **J** пропиламином, в результате чего образуется гидрохлорид Ультракаина, который после нейтрализации превращается в целевой продукт **III**. Стоит отметить, что расшифровка данной схемы может быть проведена и в обратном порядке исходя из приведенной в условии структуры Ультракаина.



3. Речь идет о метакрилонитриле **E** и метилметакрилате **E'**, которые находят широкое применение в синтезе акриловых полимеров, которые можно использовать для изготовления



листов пластика, эмульсионных полимеров, чернил и пленок, материалов, известных под названием плексиглас или люцит.

4. Адреналин, входящий в состав препарата Ультракаина, вызывает повышение давления, поэтому применять данный препарат для анестезии гипертоников нежелательно. В таких случаях вместо него рекомендовано использовать Скандонест.

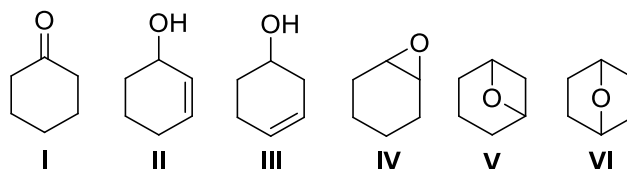
**Система оценивания:**

- |   |                   |
|---|-------------------|
| 1. Структурные формулы <b>A – D, I и II</b> – по 1.5 балла                                | <b>9 баллов</b>   |
| 2. Структурные формулы <b>E – J</b> – по 1.5 балла  | <b>9.5 баллов</b> |
| Структурные формулы <b>K и X</b> – по 1 баллу   |                   |
| 3. Структурная формула <b>E'</b> – 0.5 балла, одна из областей его применения – 0.5 балла | <b>1 балл</b>     |
| 4. Обоснование – 0.5 балла  | <b>0.5 балла</b>  |

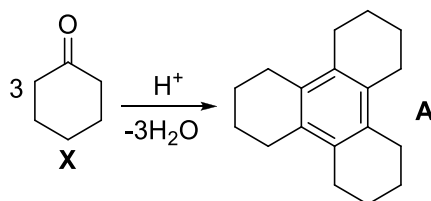
**ИТОГО: 20 баллов**

**Решение задачи 11-4 (автор: Болматенков Д.Н., Седов И.А.)**

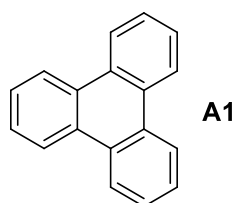
1. По имеющимся данным можно составить несколько возможных структурных формул для **X, Y и Z**:



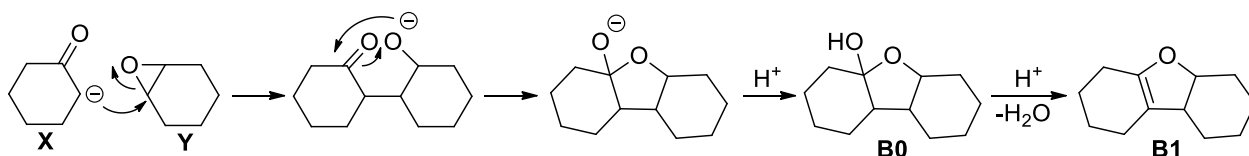
Заметим, что разность между брутто-формулой **A** и утроенной брутто-формулой **X** соответствует трем молекулам воды. В последовательные реакции конденсации с выделением трех молекул воды и образованием ароматического кольца могут вступить три молекулы кетона **I**:



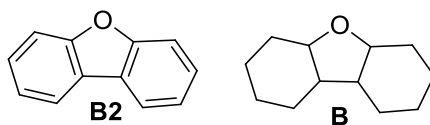
Таким образом, **X** – циклогексанон. Дегидрирование **A** приводит к ароматизации всех циклов с образованием трифенилена **A1**:



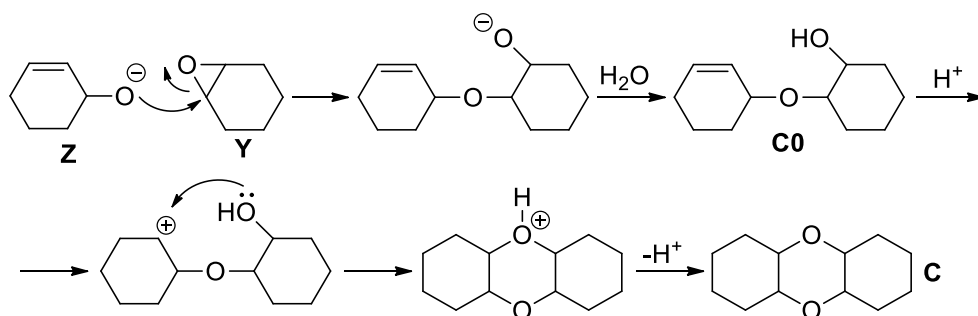
Реакция циклогексанона с эпоксидом **IV** в присутствии основания приводит к раскрытию эпоксидного цикла вследствие нуклеофильной атаки карбаниона (циклы в соединениях **V** и **VI** раскрываются значительно труднее). Продуктом реакции является циклический полуацеталь (**B0**), который затем отщепляет воду:

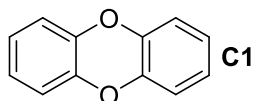


Дегидрирование приводит к образованию дибензофурана **B2**, гидрирование которого даёт **B**:



Итак, **Y** – окись циклогексена (**IV**). В щелочной среде эпоксидный цикл способен раскрываться и под действием алкоголят-анионов, образующихся из спиртов **II** и **III**. Чтобы затем образовалась молекула с тремя циклами, должно произойти присоединение свободного гидроксила по двойной связи. Очевидно, что в случае спирта **II** это приведет к образованию молекулы с тремя устойчивыми шестичленными циклами, способной к дальнейшему обратимому дегидрированию, а в случае спирта **III** – к пространственно затрудненной структуре, которая будет склонна к перегруппировкам. Поэтому **Z** – 2-циклогексенол.





2. Запишем уравнения реакций дегидрирования:



Вычислим массу водорода, выделяющуюся из единицы массы накопителя:

**A**:  $2 \cdot 6 / 240 = 0.050$

**B**:  $2 \cdot 6 / 180 = 0.067$

**C**:  $2 \cdot 6 / 196 = 0.061$

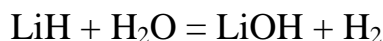
Как видно, самым эффективным накопителем является соединение **B**.

3. В баллоне при комнатной температуре содержится

$$m = \frac{pV}{RT} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{8.314 \cdot 298} = 484 \text{ г}$$

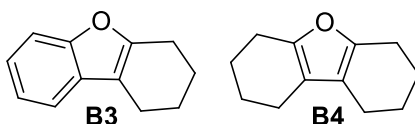
водорода, т.е. эффективность составляет  $0.484/65 = 0.0074$ , что намного ниже, чем у органических накопителей.

Гидрид лития выделяет водород при реакции с водой:



Возможны два подхода при расчете эффективности: без учета массы воды (если она легко доступна) и с ее учетом (если водород предполагается получать в автономных условиях). В первом случае на единицу массы гидрида выделяется  $2/8 = 0.25$  единиц массы водорода, во втором на единицу массы гидрида и воды выделяется  $2/26 = 0.077$  единиц массы водорода, т.е. он в любом случае оказывается эффективнее органических накопителей.

4. Структуры **B3** и **B4**:



5. 1 молекула **B** теряет 12 атомов водорода при превращении в **B2**, 8 при превращении в **B3** ( $C_{12}H_{12}O$ ) и 4 при превращении в **B4** ( $C_{12}H_{16}O$ ). Поэтому эффективность составляет  $(12 \cdot 0.08 + 8 \cdot 0.32 + 4 \cdot 0.60) / 180 = 0.033$ , что в 2 раза

ниже, чем при 100%-м превращении в **B2**.

**6.** В системе устанавливаются равновесия:



Если смесь идеальна, то константы равновесия выражаются через мольные доли компонентов и давление водорода  $p$ :

$$\frac{x(\mathbf{B3})}{p^2 \cdot x(\mathbf{B2})} = K_1; \quad \frac{x(\mathbf{B4})}{p^2 \cdot x(\mathbf{B3})} = K_2.$$

Если давление водорода снизить в 2 раза, то отношения мольных долей компонентов снизятся в 4 раза по сравнению с исходными, т.е.:

$$\frac{x(\mathbf{B3})}{x(\mathbf{B2})} = 0.25 \cdot \frac{0.32}{0.08} = 1; \quad \frac{x(\mathbf{B4})}{x(\mathbf{B3})} = 0.25 \cdot \frac{0.60}{0.32} = 0.47.$$

Отсюда

$$2.47 \cdot x(\mathbf{B3}) = 1; \quad x(\mathbf{B3}) = 0.405 = x(\mathbf{B2}); \quad x(\mathbf{B4}) = 0.19.$$

Смесь будет содержать по 40.5 мольных % **B2** и **B3** и 19% **B4**.

Эффективность равна  $(12 \cdot 0.405 + 8 \cdot 0.405 + 4 \cdot 0.19) / 180 = 0.049$ , что в 1.5 раза выше, чем до модернизации.

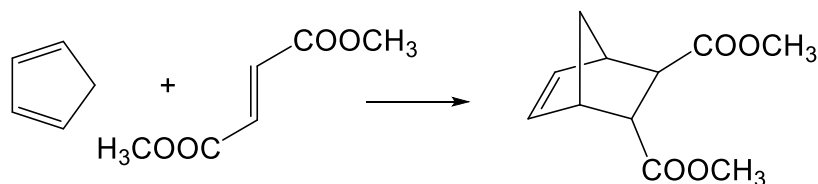
**Система оценивания:**

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. Структурные формулы <b>X</b> , <b>Y</b> , <b>Z</b> , <b>A</b> , <b>A1</b> , <b>B</b> , <b>B0</b> ,<br><b>B1</b> , <b>B2</b> , <b>C</b> , <b>C0</b> , <b>C1</b> – по 0.75 балла | <b>9 баллов</b>  |
| 2. Верный ответ с расчетом – 1 балл   | <b>1 балл</b>    |
| 3. Верный расчет эффективности каждого из накопителей –<br>по 1.5 балла (для гидрида лития засчитывается любой из<br>вариантов)   | <b>3 балла</b>   |
| 4. Структурные формулы <b>B3</b> и <b>B4</b> – по 0.75 балла  | <b>1.5 балла</b> |
| 5. Верный расчет – 1.5 балла  | <b>1.5 балла</b> |
| 6. Запись констант равновесия – 1 балл<br>Определение состава смеси – 2 балла<br>Расчет эффективности – 1 балл  | <b>4 балла</b>   |

**ИТОГО: 20 баллов**

## Решение задачи 11-5 (автор: Ерёмин В.В.)

1. Это – обычная реакция Дильса-Альдера:



2. Перепишем данные таблицы 1, используя соотношение:  $c(A) = c_0(A) - c(AB)$

$t$ , мин	0	20	40	$\infty$
$c(A)$ , М	0.370	0.259	0.199	0

Порядок реакции проще всего найти подстановкой  $c(A)$  и  $t$  в уравнение для реакции  $n$ -го порядка. Самый очевидный выбор:  $c \approx n = 2$ :

$t$ , мин	20	40
$k_1 = \frac{1}{t} \left( \frac{1}{c} - \frac{1}{c_0} \right)$ , М <sup>-1</sup> мин <sup>-1</sup>	0.0579	0.0581

Константа практически не меняется. Это свидетельствует о том, что реакция имеет 2-й порядок.  $k_1 = 0.0580 \text{ М}^{-1}\text{мин}^{-1}$ .

3. Концентрации продуктов АВ и А<sub>2</sub> при  $t = 3$  мин находим по материальному балансу:

$$c(AB) = c_0(B) - c(B) = 0.370 - 0.267 = 0.103 \text{ М.}$$

В первой реакции израсходовано также 0.103 М диена А, тогда во вторую реакцию вступило  $0.370 - 0.102 - 0.103 = 0.165 \text{ М А}$ ,

$$c(A_2) = 0.165 / 2 = 0.0825 \text{ М.}$$

Диен (вещество А) расходуется в двух параллельных реакциях:

$$r_A = r_1 + r_2 = k_1 c(A)c(B) + 2k_2 c(A)^2$$

Подставив в это уравнение данные из таблицы 2, получим систему двух уравнений для двух констант скорости:

$$\begin{cases} 0.263 = (k_1 + 2k_2) \cdot 0.370^2 \\ 0.0296 = k_1 \cdot 0.102 \cdot 0.267 + 2k_2 \cdot 0.102^2 \end{cases}$$

$$k_1 = 0.571 \text{ М}^{-1}\text{мин}^{-1}, k_2 = 0.675 \text{ М}^{-1}\text{мин}^{-1}.$$

4. В первой реакции порядок по А равен 1, во второй – 2, поэтому в

суммарном уравнении порядок должен быть больше 1, но меньше 2.

Проверим это:

$$r_0 = k_{\text{эксп}} c_0^x$$

$$r_1 = k_{\text{эксп}} c_1^x$$

$$x = \frac{\ln\left(\frac{r_0}{r_1}\right)}{\ln\left(\frac{c_0}{c_1}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{0.263}{0.0296}\right)}{\ln\left(\frac{0.370}{0.102}\right)} = 1.70.$$

**5.** При комнатной температуре имеет место кинетический контроль. Образование *эндо*-изомера идет значительно быстрее и характеризуется меньшей энергией активации.

При 200 °С соотношение продуктов определяется термодинамическим контролем. *Экзо*-изомера образуется больше, поэтому он более устойчив и имеет меньшую стандартную энергию Гиббса.

$$G^\circ(\text{эндо}) - G^\circ(\text{экзо}) = -8.314 \cdot 473 \cdot \ln(1/3) = 4300 \text{ Дж/моль} = 4.3 \text{ кДж/моль}.$$

**Система оценивания:**

- |   |                 |
|---|-----------------|
| <b>1.</b> Правильная структура – <b>2 балла</b><br>Стереохимия не учитывается.  | <b>2 балла</b>  |
| <b>2.</b> Порядок реакции с обоснованием – <b>2 балла</b><br>(без обоснования – 0 баллов)<br>Константа скорости с размерностью – <b>2 балла</b><br>(без размерности – 0 баллов)   | <b>4 балла</b>  |
| <b>3.</b> Концентрации продуктов (по 1 баллу) – <b>2 балла</b><br>Закон действующих масс для суммарной скорости – <b>1 балл</b><br>(не имеет значения, с коэффициентом 2 или нет)<br>Система уравнений для констант скорости – <b>2 балла</b><br>Константы скорости (по 1 баллу) – <b>2 балла</b><br>( $k_2$ принимается как с коэффициентом 2, так и без него)<br>(без размерности – 0 баллов) | <b>7 баллов</b> |
| <b>4.</b> Порядок по веществу А – <b>3 балла</b><br>(Если порядок не рассчитан,<br>то правильное неравенство – 1 балл)  | <b>3 балла</b>  |
| <b>5.</b> Вопрос про энергию активации – <b>1 балл</b><br>Вопрос про энергию Гиббса – <b>1 балл</b><br>Значение энергии Гиббса – <b>2 балла</b>   | <b>4 балла</b>  |

**ИТОГО: 20 баллов**