

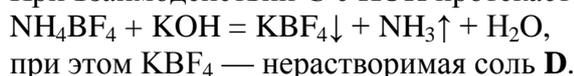
## 10 класс

### № 1

- 1) Определим соль **C**, по условию задачи она содержит 72,48% F, 13,36% N, 3,85% H и 10,31% неизвестного элемента Э. Рассчитаем отношения количества вещества элементов, поделив массу элементов (допустим, что у нас 100 г вещества, тогда масса элементов совпадает с массовой долей) на их атомную массу: 3.81:0.954:3.81:Э. Разделив на минимальное значение, получим отношение числа атомов: 4:1:4:x, тогда соль **C** имеет состав  $\text{NH}_4\text{Э}_x\text{F}_4$ .

Пусть  $x = 1$ , тогда количество вещества элемента Э будет равно 0,954, значит, можно рассчитать атомную массу, разделив массу элемента на его количество вещества:  $10,31/0,954 = 10,8$ , что совпадает с атомной массой бора, тогда **C** –  $\text{NH}_4\text{BF}_4$

- 2) При взаимодействии **C** с **KOH** протекает реакция:



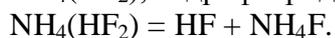
- 3) Рассчитаем молярную массу оставшейся соли **F** в реакции (4):  $(1 - 0,54) \cdot M(\text{KBF}_4) = 0,46 \cdot 126 = 58$  г/моль, т.к. это калиевая соль, найдём массу аниона:  $58 - 39 = 19$  г/моль, что соответствует молярной массе фтора. Запишем термическое разложение соли **D**:  $\text{KBF}_4 = \text{KF} + \text{BF}_3\uparrow$ ,

тогда **KF** (соль **F**), которая является солью фтороводородной кислоты **HF(Y)**.

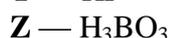
- 4) Запишем части реакций (1) и (2), которые известны:



По условию потеря массы в реакции (1) составляет 35%, она приходится на **HF**. Допустим стехиометрию разложения соли с образованием **HF** 1:1, тогда рассчитаем молярную массу соли **X**:  $M(\text{HF})/0,35 = 20/0,35 = 57$  г/моль. Пусть  $x = 1$ , тогда  $M(\text{A}) = 57 - 18 = 39$  г/моль. Из реакции (2) предположим, что **Z** — это борсодержащая кислота, тогда анион **A** не содержит бора, а может содержать только H, F или O. Из реакции (1) можно сделать вывод, что **A** точно содержит F.  $M(\text{A}) - M(\text{F}) = 39 - 19 = 20$  г/моль, что соответствует либо **HF**, либо **OH<sub>4</sub>**, последнее не существует, тогда истинная формула **X** –  $\text{NH}_4(\text{HF}_2)$ , гидрофторид аммония. Реакция его разложения:



- 5) Т.к. **X** не содержит кислорода, то по уравнению (2) можно сделать окончательный вывод, что **Z** — кислородная борсодержащая кислота — борная кислота, формула которой  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . Реакция (2) проходит при нагревании:



### Рекомендации к оцениванию:

1. Записаны 4 уравнения реакций – по 1 баллу за каждое (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.5 балла). *1 × 4 = 4 балла*
2. Определены вещества **X-Z**, **C-F** – каждое по 1 баллу. *1 × 6 = 6 баллов*

**ИТОГО: 10 баллов**

### № 2

- 1) Т.к. **A** является оксидом металла **X**, то при частичном восстановлении водородом образуется другой оксид – **C**. Представим его формулу как  $\text{X}_a\text{O}_b$ , тогда:

$$\omega(\text{X}) = \frac{aA_r(\text{X})}{aA_r(\text{X}) + 16b} = 0.6422$$

откуда

$$A_r(\mathbf{X}) = 28,72 \cdot \frac{b}{a}$$

Займёмся перебором целочисленных значений  $a$  и  $b$ :

a\b	1	2	3	4	5
1	28,7	57,4	86,2	114,9	143,6
2	14,4	28,7	43,1	57,4	71,8
3	9,6	19,1	28,7	38,3	<b>47,9</b>

Среди полученных значений молярных масс только одно соответствует химическому элементу – титану:  $a = 3$ ,  $b = 5$ ,  $A_r(\mathbf{X}) = 48$ . Вещество **C** –  $\text{Ti}_3\text{O}_5$  (смешанный оксид  $\text{TiO}_2 \cdot \text{Ti}_2\text{O}_3$ ).

Аналогичным путем можно было определить искомый элемент через массовую долю металла в галогениде **E**, представив его формулу как  $\text{X}\Gamma_n$ :

$$\omega(\mathbf{X}) = \frac{A_r(\mathbf{X})}{A_r(\mathbf{X}) + nA_r(\Gamma)} = 0,0862$$

откуда

$$M(\mathbf{X}) = 0,094 \cdot n \cdot A_r(\Gamma)$$

Перебирая целочисленные значения  $n$  и атомные массы галогенов

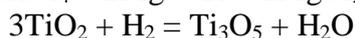
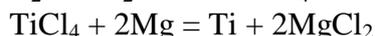
$n \backslash A_r(\Gamma)$	19	35,5	80	127
1	1,8	3,3	7,5	11,9
2	3,6	6,7	15,0	23,9
3	5,4	10,0	22,6	35,8
4	7,1	13,3	30,1	<b>47,8</b>

приходим к тому же выводу:  $n = 4$ ,  $A_r(\Gamma) = 127$ . Вещество **E** –  $\text{TiI}_4$ .

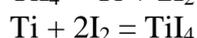
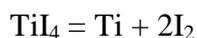
Поскольку **C** образуется за счет восстановления **A**, оно должно содержать титан в более высокой степени окисления, т.е. +4. Таким образом, зашифрованные соединения:

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
$\text{TiO}_2$	$\text{TiCl}_4$	$\text{Ti}_3\text{O}_5$	$\text{I}_2$	$\text{TiI}_4$

Уравнения протекающих реакций:



- Немонотонность скорости осаждения титана от температуры стенок реактора объясняется образованием различных веществ. При низких температурах образуется тетраиодид титана  $\text{TiI}_4$ , который обладает высокой летучестью. При температуре выше  $300^\circ\text{C}$  образуется диiodид титана  $\text{TiI}_2$ , имеющий гораздо более низкую летучесть, которая становится существенной лишь при температуре выше  $500^\circ\text{C}$ .
- После осаждения титана на нити выделившийся иод вступает в реакцию с новыми порциями металла:



В ходе процесса иод практически не расходуется, а выполняет роль переносчика металла из холодной зоны в горячую. Такие процессы называются *химическими транспортными реакциями*.

**Рекомендации к оцениванию:**

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1. Определение элемента <b>X</b> с обоснованием (расчет или проверка) – 1.5 балла.  | 1.5 балла                  |
| 2. Определены вещества <b>A-E</b> – каждое по 0.5 балла.  | $0.5 \times 5 = 2.5$ балла |
| 3. Записаны 6 уравнений реакции – каждое по 0.5 балла (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.25 балла). | $0.5 \times 6 = 3$ балла   |
| 4. Обоснование немонотонности скорости осаждения – 2 балла.   | 2 балла                    |
| 5. Дан верный ответ на вопрос о количестве галогена – 1 балл.   | 1 балл                     |
| <b>ИТОГО:</b>   | <b>10 баллов</b>           |

**№ 3**

Источник: Н. Гринвуд, А. Эрншо «Химия элементов», Т.1, Раздел 4.4.3.

- 1) Посмотрим соотношения масс элемента **X**, приходящихся на одну и ту же массу элемента **Y**, например, на 10 г последнего.

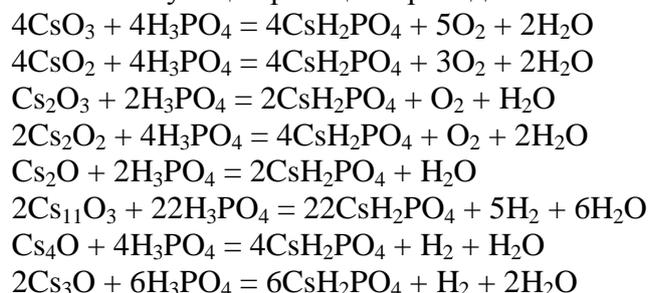
Соединение	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
m( <b>X</b> ),г	3,61	2,41	1,80	1,20	0,60	0,33	0,30	0,17

Очевидно, что для соединений **A-E** эти массы соотносятся как 6:4:3:2:1 (или 3:2:1,5:1:0,5), что весьма схоже с последовательностью для бинарных соединений щелочных металлов с кислородом ( $MO_3 - MO_2 - M_2O_2 (MO) - M_2O$ ). Эти соединения (кроме оксидов) выделяют газ (кислород) при взаимодействии с горячей водой. Тогда, предположив, что элемент **X** – кислород, а соединение **A** – озонид, получаем, что элемент **Y** – цезий. Составы веществ:

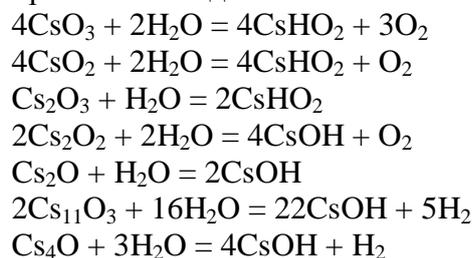
соединение	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>
формула	$CsO_3$	$CsO_2$	$Cs_2O_3$	$Cs_2O_2$	$Cs_2O$	$Cs_{11}O_3$	$Cs_4O$	$Cs_3O$

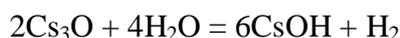
- 2) Предполагается, что «полуторный оксид»  $Cs_2O_3$  на самом деле является динадпероксидом-пероксидами состоит из следующих ионов:  $[(Cs^+)_4 \cdot (O-O)^{-2} \cdot (O-O)^{-2}]$ .

- 3) Соответствующие реакции приведены ниже:



Реакции с концентрированным раствором гидроксида натрия на самом деле будут протекать с водой:



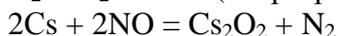


4) Получение:



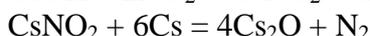
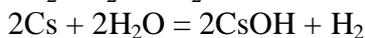
b)  $\text{Cs}(\text{избыток}) + \text{O}_2(\text{недостаток}) = \text{субоксиды}$

c)  $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO}$  (эл. разряд)



d)  $4\text{CsO}_2 = 2\text{Cs}_2\text{O}_3 + \text{O}_2$  (нагревание)

e)  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$



#### Рекомендации к оцениванию:

- |  |                            |
|--|----------------------------|
| 1. Определение элементов <b>X</b> и <b>Y</b> – по 0.5 балла за элемент.  | <i>0.5 × 2 = 1 балл</i>    |
| 2. Определение веществ <b>A-H</b> – по 0.25 балла за вещество.   | <i>0.25 × 8 = 2 балла</i>  |
| 3. Приведено строение $\text{Cs}_2\text{O}_3$ – 0.5 балла.   | <i>0.5 балла</i>           |
| 4. Записаны уравнения 8 реакций с $\text{H}_3\text{PO}_4$ – каждая по 0.25 балла (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.1 балла).                                  | <i>0.25 × 8 = 2 балла</i>  |
| 5. Записаны уравнения 8 реакций с $\text{CsOH}$ – каждая по 0.25 балла (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.1 балла).  | <i>0.25 × 8 = 2 балла</i>  |
| 6. Приведены 5 способов синтеза из простых веществ (кроме (1)) – каждый по 0.5 балла (если в уравнении реакции или способе где-либо поставлены неверные коэффициенты, за него ставится 0.1 балла). | <i>0.5 × 5 = 2.5 балла</i> |

**ИТОГО:**

**10 баллов**

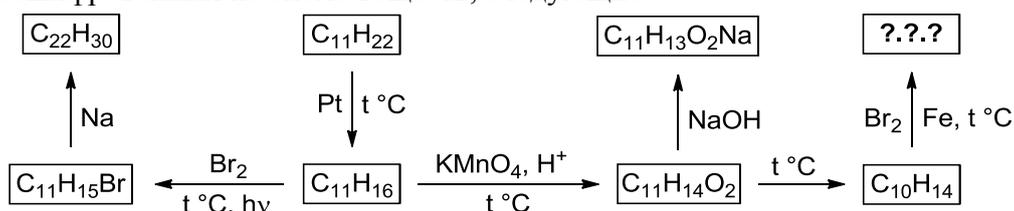
#### № 4

Решение задачи разумно начать с выяснения состава вещества  $\text{NaY}$ . Судя по схеме,  $\text{Y}_2$  – это реакционноспособная двухатомная молекула. Подобными соединениями являются галогены и кислород. Массовая доля  $\text{Na}$  в  $\text{NaY}$  составляет 22.33%, составим таблицу:

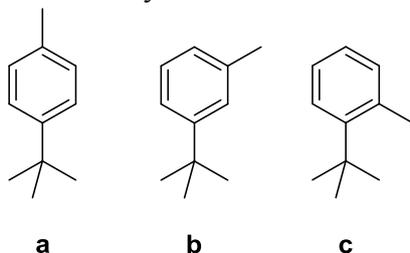
$M_r(\text{NaY})$	31.4	103 (NaBr)	174.7	384	595.6
$M_r(\text{Y})$	24.4	80 (Br)	135.7	297.5	462.6

Таким образом, понятно, что единственным подходящим вариантом является  $\text{NaBr}$ , тогда  $\text{Y}$  – это  $\text{Br}$ . Теперь попробуем установить состав вещества **11.16** из имеющихся данных. Известно, что атомов углерода меньше в 0.6875 раз, приведем данное число к дробному виду, получим  $0.6875 = 11/16$ , то есть формула зашифрованного соединения  $(\text{C}_{11}\text{H}_{16})_n$ . Похоже, что числа в названии совпадают с числом различных атомов в молекуле (при  $n = 1$ ), совпадение? Проверим это предположение. Из условия мы знаем, что одна молекула  $(\text{C}_{11}\text{H}_{16})_n$  реагирует с одним эквивалентом брома. Известно, что при облучении углеводороды реагируют с бромом, при этом происходит замещение атом водорода на бром, тогда брутто-формула продукта должна выглядеть следующим образом:  $(\text{C}_{11}\text{H}_{15})_n\text{Br}$ . Этот продукт на схеме обозначен как **11.15.1'**, что соответствует нашему предположению  $\text{C}_{11}\text{H}_{15}\text{Br}$  (при  $n = 1$ ). Значит предположение верно, и соединения действительно зашифрованы числами различных атомов в молекуле.

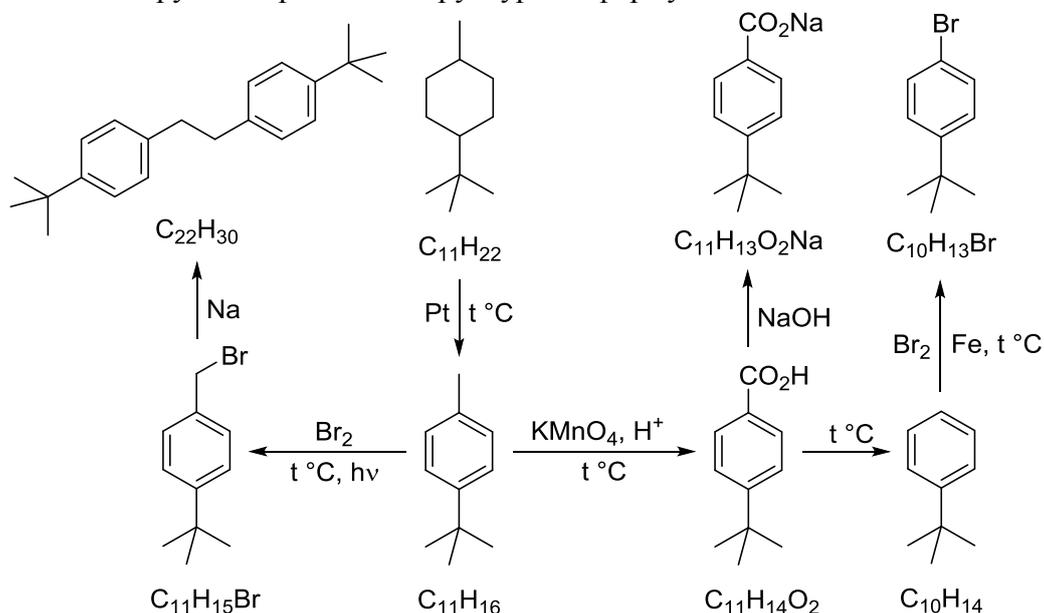
Вернемся к соединению  $C_{11}H_{16}$ , его степень неопределенности составляет 4. Из условия также известно, что это углеводород имеет 4 типа структурно неэквивалентных атомов водорода и не реагирует с бром без освещения. Это означает, что в этой молекуле либо отсутствуют кратные связи (и, соответственно, имеется 4 цикла), либо присутствует бензольное кольцо. Способ получения этого соединения говорит о том, что молекула имеет бензольное кольцо (нагревание с платиновым катализатором обычно ведет к образованию кратных связей). На это также указывает образование единственного продукта в реакции с бромом при облучении, а также реакция с перманганатом калия. Название продукта в реакции  $C_{11}H_{16}$  с перманганатом калия (**11.14.2**) дает понять, что деструкция углеродного скелета не произошла, но при этом появились два новых атома другого элемента. Так как это реакция окисления с  $KMnO_4$ , то этот элемент – кислород. А реакция с  $NaOH$  вещества **11.14.2** позволяет предположить, что это кислота, которая с щелочью образует соль. Тогда брутто формулы зашифрованных на схеме веществ, следующие:



Осталось определить строение всех веществ. Перманганат калия в кислой среде окисляет  $\alpha$ -атомы углерода бензольного кольца до карбоксильной группы (кроме четвертичных атомов углерода), а так как окислился всего один атом углерода в  $C_{11}H_{16}$  (этот вывод сделан исходя из брутто-формулы продукта), значит у этого ароматического углеводорода имеется одна  $CH_3$ -группа и один заместитель с четвертичным атомом углерода, что может соответствовать следующим соединениям:



Из этих структур только **а** имеет 4 типа структурно неэквивалентных атомов водорода. Тогда нетрудно определить структурные формулы всех соединений:



Отсюда видно, что вместо '???' должно быть написано **10.13.1'**. В реакции бромирования *трет*-бутилбензола предпочтительно образование *орто*- и *пара*-изомеров, т.к. алкильная группа является *орто*-/*пара*-ориентантом. При этом будет преимущественно образовываться 1-бром-4-*трет*-бутилбензол ввиду стерических причин (бромирование в *орто*-положение оказывается более медленным и менее энергетически выгодным).

#### Рекомендации к оцениванию:

- |  |                  |
|--|------------------|
| 1. Определение вещества NaY – 1 балл (при отсутствии расчёта ставится 0.5 балла).    | 1 балл           |
| 2. Вывод брутто-формулы <b>11.16</b> – 0.5 балла.                                    | 0.5 балла        |
| 3. Определение структурной формулы <b>11.16</b> – 0.5 балла.                         | 0.5 балла        |
| 4. Определение формул остальных 6 зашифрованных числами веществ – каждое по 1 баллу. | 1 × 6 = 6 баллов |
| 5. Определение структурной формулы '???' – 0.5 балла.                                | 0.5 балла        |
| 6. Дан верный ответ, чему равно число '???' – 0.5 балла.                             | 0.5 балла        |
| 7. Ответ о предпочтительности образования <i>пара</i> -изомера '???'                 | 1 балл           |
| <b>ИТОГО:</b>  | <b>10 баллов</b> |

#### № 5

- 1) Представим формулу **A** в виде  $C_xH_yO_z$ . По условию органическое вещество **D** относится к классу фенилпропаноидов, т.е. содержит в своем составе бензольное кольцо. Проанализировав схему в целом, можно утверждать, что ароматическая система уже содержится в веществе **A**, т.е.  $x \geq 6$ . Определим молекулярную массу вещества **A** через массовую долю кислорода в нем:

$$\omega(O) = \frac{z \cdot A_r(O)}{M_r(A)}$$

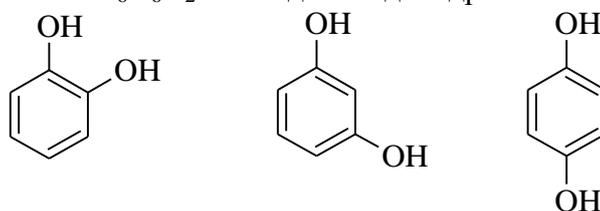
$$M_r(A) = \frac{z \cdot A_r(O)}{\omega(O)} = \frac{16}{0.291} \cdot z = 55z, \quad z \geq 2$$

Пусть  $z = 2$ , тогда  $M_r(A) = 110$ :

$$12x + y = 110 - 16 \cdot 2 = 78$$

$$y = 78 - 12x$$

Возможно единственное рациональное решение уравнения в целых числах при  $x = 6$ ,  $y = 6$ , молекулярная формула **A** –  $C_6H_6O_2$ . Это один из дигидроксibenзолов:



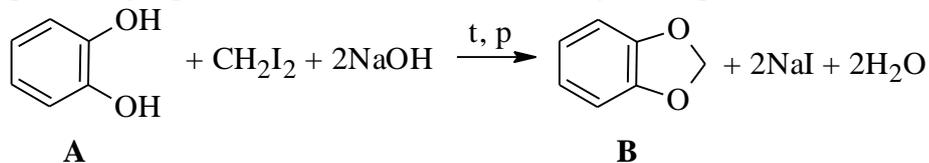
Проанализируем химические процессы, отраженные на схеме, более подробно.

- A** → **B** Фенолы в щелочной среде образуют фенолят-ионы, проявляющие сильные нуклеофильные свойства. При реакции с галогеналканами будет протекать нуклеофильное замещение.
- B** → **C** *N*-бромсукцинимид (NBS) используется для бромирования. Поскольку в условии отсутствует освещение или повышенная температура, механизм реакции не радикальный. Следовательно, протекает ароматическое электрофильное замещение.
- C** → **D** Конструктивная реакция с образованием углерод-углеродной связи (аналог реакции Вюрца).

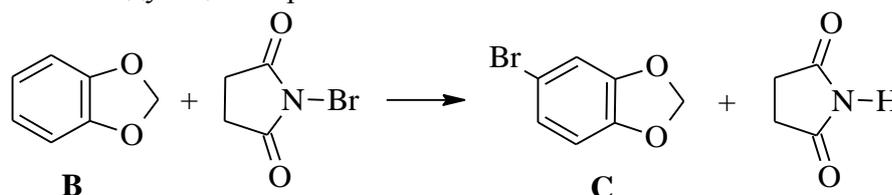
После такого анализа становится понятно, что количество атомов кислорода в молекулах не меняется и равно двум. Тогда можно легко посчитать молекулярные массы этих веществ и определить молекулярные формулы:

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
$M_r$	110	112	201	162
Формула	$C_6H_6O_2$	$C_7H_6O_2$	$C_7H_5O_2Br$	$C_{10}H_{10}O_2$

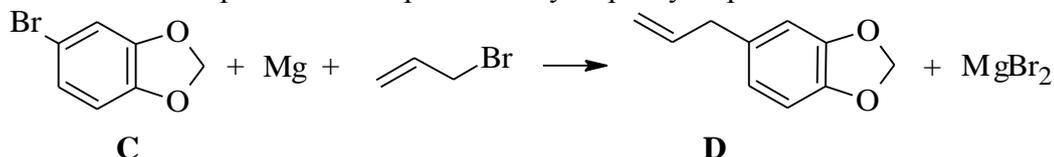
В соединении **B** – отсутствует иод, в то время как в ходе алкилирования в молекуле увеличилось количество атомов углерода на единицу. Значит, второй этап алкилирования прошел внутримолекулярно. Это возможно только в случае пирокатехина:



Далее происходит бромирование. Два атома кислорода находятся в *орто*-положении и несогласованно активируют оставшиеся положения бензольного кольца в реакциях ароматического электрофильного замещения. Тогда учитывая пространственный фактор, реакция протекает следующим образом:

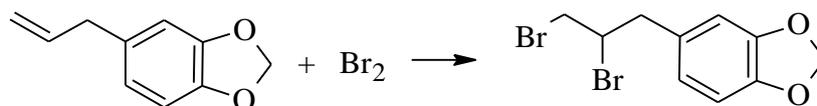


На последней стадии происходит образование углерод-углеродной связи:

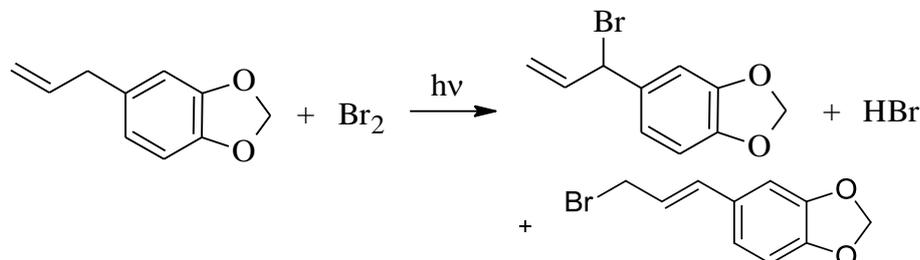


## 2) Взаимодействие вещества **D** с бромом

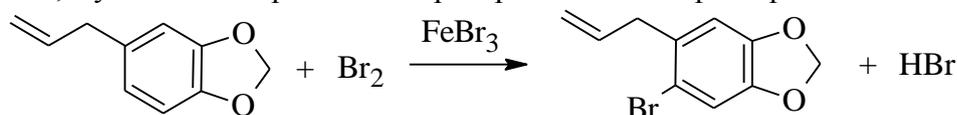
а) при комнатной температуре указывает на обычную реакцию электрофильного присоединения по двойной связи:



б) облучение УФ-светом способствует протеканию реакции по радикальному механизму, образующийся аллильный радикал может реагировать с бромом по обоим крайним положениям:



в) в присутствии катализатора  $\text{FeBr}_3$  реализуется ароматическое электрофильное замещение, с учетом электронного и пространственного факторов:



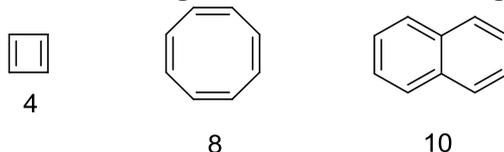
3) Осуществить переход из **A** → **B** в кислой среде не представляется возможным, поскольку (как уже было отмечено ранее) реакция идет по механизму нуклеофильного замещения. В кислой среде нуклеофил (фенолят-ион) образован не будет.

**Рекомендации к оцениванию:**

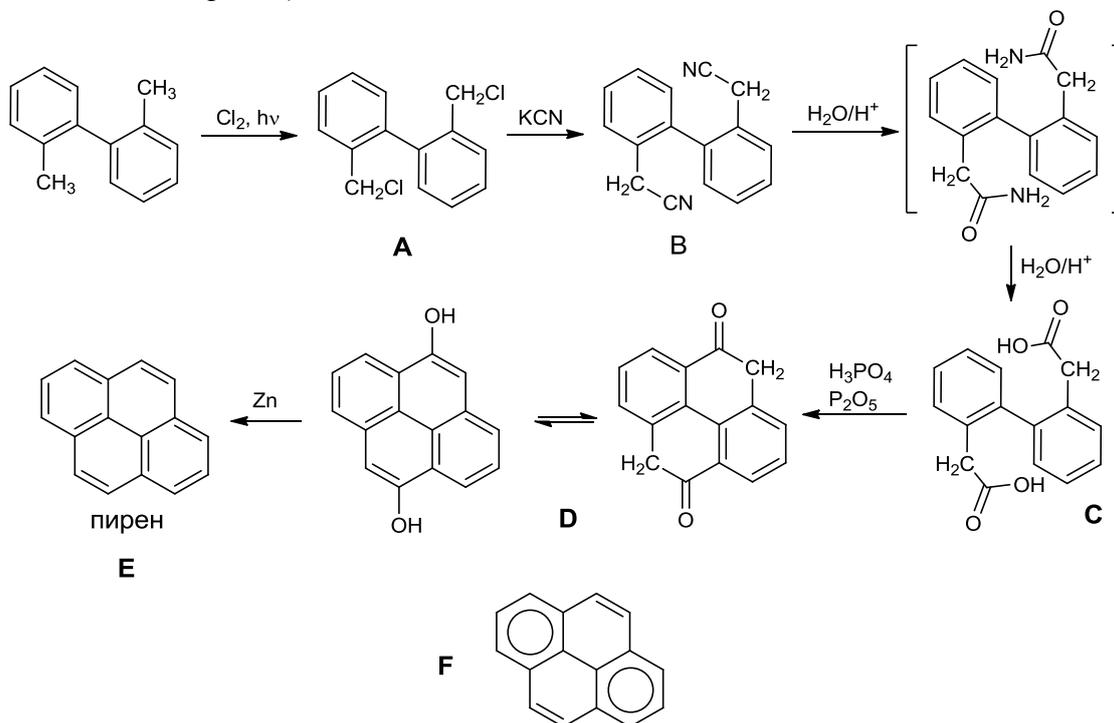
1. Вещества **A-D** – по 1.5 балла за каждое (0.5 балла за молекулярную формулу вещества с соответствующим расчётом, 1 балл за структурную формулу вещества). 1.5 × 4 = 6 баллов
2. Уравнения реакций с бромом – каждое по 1 баллу (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.5 балла). 1 × 3 = 3 балла
3. Ответ на вопрос о возможности смены среды – 1 балл. 1 балл

**ИТОГО: 10 баллов****№6**

- 1) Циклобутadiен содержит 4 π-электрона, циклооктатетраен – 8, нафталин – 10. Под правило Хюккеля подходит только нафталин, он и является ароматическим.



- 2) Схема синтеза углеводорода **E**: (А.Н. Несмеянов, Н.А. Несмеянов «Начала органической химии», том 2, стр. 264)



- 3) Пирен имеет 16 π-электронов и на первый взгляд не является ароматическим. Однако правило Хюккеля выведено для моноциклических систем. На полициклические конденсированные (т.е. содержащие несколько бензольных колец с общими гранями) системы оно может быть перенесено для систем, имеющих атомы, общие для двух циклов, например, для нафталина. Для соединений, имеющих хотя бы один атом, общий для трех циклов (например для пирена), правило Хюккеля неприменимо. Для понимания ароматичности поликонденсированных ароматических углеводородов следует использовать правило Клара. Согласно ему, резонансная структура Кекуле с наибольшим числом несоединенных общими гранями бензолоподобных фрагментов является наиболее важной для характеристики свойств полициклического ароматического углеводорода. То есть для описания свойств пирена следует использовать резонансную структуру с двумя бензольными кольцами и двумя двойными связями. Иначе говоря, пирен можно

представить как бифенил, в котором фенильные кольца соединены двумя двойными связями (структура **F**).

4) Гидролиз нитрилов проходит через промежуточное образование амидов (структура в квадратных скобках на схеме)

#### Рекомендации к оцениванию:

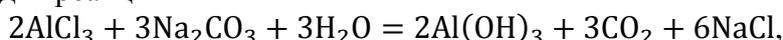
- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. Выбор ароматической структуры (нафталин) – 1.5 балла (без объяснения – 0 баллов, если кроме нафталина выбраны другие системы – 0.5 балла). | 1.5 балл                |
| 2. Структуры соединений А-Е – по 1 баллу.   | $1 \times 5 = 5$ баллов |
| 3. Приведено число $\pi$ -электронов в пирене – 1 балл.   | 1 балл                  |
| 4. Объяснение ароматичности пирена – 1.5 балл.  | 1.5 балла               |
| 5. Приведена структура амида – 1 балл.  | 1 балл                  |
| <b>ИТОГО:</b>   | <b>10 баллов</b>        |

#### № 7

Посчитаем изменение массы в единицу времени во **II** стакане: за 1 мин приливается 2 мл  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , что соответствует

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{2.00 \text{ мл} \cdot 0.140 \cdot 1.146 \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1}}{105.99 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}} = 0.0030 \text{ моль}.$$

При этом происходит реакция



из сферы реакции выделяется только  $\text{CO}_2$ , тогда  $n(\text{CO}_2) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ , что за 1 мин соответствует уменьшению  $m(\text{CO}_2) = 0.0030 \text{ моль} \cdot 44.01 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 0.1320 \text{ г}$ . Тогда изменение массы во **II** стакане в единицу времени составляет

$$\Delta m_{\text{II}} = m_{\text{пра}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) - m(\text{CO}_2) = 2.000 \text{ мл} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot 1.146 \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1} - 0.1320 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1} = 2.160 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}.$$

Переведём в моли реагирующие вещества в **I** стакане:

$$n(\text{CuCl}_2) = n(\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{21.310 \text{ г}}{170.483 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}} = 0.1250 \text{ моль},$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{3.52 \text{ мл} \cdot 0.2620 \cdot 1.130 \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1}}{36.46 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}} = 0.0286 \text{ моль}.$$

Во время электролиза сначала будет происходить разложение  $\text{CuCl}_2$ , затем  $\text{HCl}$ , затем  $\text{H}_2\text{O}$ .

По закону Фарадея рассчитаем время, необходимое на полное разложение  $\text{CuCl}_2$ :

$$\tau_1 = \frac{zFn}{I} = \frac{2 \cdot 96485 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot 0.1250 \text{ моль}}{8.66 \text{ А}} = 2785 \text{ с} = 46.42 \text{ мин}.$$

При электролизе происходит следующая реакция:  $\text{CuCl}_2 = \text{Cu} + \text{Cl}_2$ , при этом медь осталась на электроде, который извлекли после прохождения реакции, а хлор полностью улетучился, тогда изменение массы составит:

$$\Delta m_1^{\text{CuCl}_2} = m(\text{Cu}) + m(\text{Cl}_2) = m(\text{CuCl}_2) = 0.1250 \text{ моль} \cdot 134.46 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 16.81 \text{ г}.$$

Проверим, придут ли весы в равновесие. Условие равновесия:  $m_1 = m_{\text{II}}$  или  $m_1^0 + \Delta m_1 = m_2^0 + \Delta m_{\text{II}}$ , где  $m_1^0, m_2^0$  — начальные массы растворов в стакане, рассчитаем их:

$$\begin{aligned} m_1^0 &= m(\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) + m_{\text{пра}}(\text{HCl}) + m(\text{H}_2\text{O}) \\ &= 21.310 \text{ г} + 3.52 \text{ мл} \cdot 1.130 \text{ г} \cdot \text{мл}^{-1} + 194.866 \text{ г} = 220.154 \text{ г}, \end{aligned}$$

$$m_2^0 = m_{\text{пра}}(\text{AlCl}_3) = 79.0936 \text{ г}.$$

Тогда

$$m_I = m_1^0 - \Delta m_1^{\text{CuCl}_2} = 220.154 \text{ г} - 16.81 \text{ г} = 203.3 \text{ г}, m_{II} = m_2^0 + \Delta m_{II} \tau_1 = 79.094 \text{ г} + 2.160 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot 46.42 \text{ мин} = 179.4 \text{ г}.$$

Видно, что  $m_I > m_{II}$ , тогда времени  $\tau_1$  недостаточно для установления равновесия, следовательно, необходимо учесть последующий электролиз HCl.

По закону Фарадея рассчитаем время, необходимое на полное разложение HCl:  $\tau_2 = \frac{zFn}{I} = \frac{2 \cdot 96485 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot 0.0286 \text{ моль}}{8.66 \text{ А}} = 637 \text{ с} = 10.62 \text{ мин}$ . При электролизе происходит следующая реакция:

$2\text{HCl} = \text{H}_2 + \text{Cl}_2$ , при этом  $\text{H}_2$  и  $\text{Cl}_2$  улетучиваются, тогда изменение массы составит:  $\Delta m_1^{\text{HCl}} = m(\text{H}_2) + m(\text{Cl}_2) = m(\text{HCl}) = 0.0286 \text{ моль} \cdot 36.46 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1} = 1.043 \text{ г}$ .

Проверим, придут ли весы в равновесие:

$$\begin{aligned} m_I &= m_1^0 - \Delta m_1^{\text{CuCl}_2} - \Delta m_1^{\text{HCl}} = 220.154 \text{ г} - 16.81 \text{ г} - 1.043 \text{ г} = 202.3 \text{ г}, m_{II} \\ &= m_2^0 + \Delta m_{II}(\tau_1 + \tau_2) = 79.094 \text{ г} + 2.16 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot (46.42 \text{ мин} + 10.62 \text{ мин}) \\ &= 202.3 \text{ г}. \end{aligned}$$

Т.к.  $m_I = m_{II}$ , система находится в равновесии. Таким образом, общее время реакции составит  $\tau_{\text{общ}} = \tau_1 + \tau_2 = 46.42 \text{ мин} + 10.62 \text{ мин} = 57.04 \text{ мин}$ . Т.к. Коля ушёл на обед через 7 мин от начала реакции, то его обед длился примерно 50 минут.

*Примечание. Данная задача может быть решена и другим способом, например, аналитическим решением системы кусочно-заданных функций изменения массы от времени или графически.*

#### Рекомендации к оцениванию:

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. Записаны три уравнения упомянутых реакций – по 0.5 балла за каждое (если в уравнении неверно расставлены коэффициенты, за него ставится 0.25 балла). | $0.5 \times 3 = 1.5$ баллов |
| 2. Рассчитано изменение массы за счёт электролиза $\text{CuCl}_2$ – 1.5 балла.  | 1.5 балл                    |
| 3. Рассчитано изменение массы за счёт электролиза HCl – 1.5 балла.  | 1.5 балла                   |
| 4. Рассчитано изменение массы за счёт реакции гидролиза – 1.5 балла.  | 1.5 балла                   |
| 5. Рассчитано время обеда Коли – 4 балла.   | 4 балла                     |

**ИТОГО:** **10 баллов**