

10 класс
Вариант 2

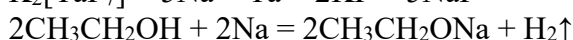
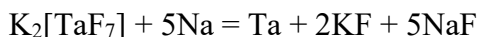
Задание 10-1

Мобильные телефоны содержат тантал: из этого металла изготовлены миниатюрные конденсаторы, кроме того, его соединение используется в конструкции фильтров акустических волн для достижения высокого качества звука. В процессе извлечения тантала из руды ее предварительно обогащают, получая концентрат. В ходе последующих операций получают соединение, содержащее 46,17 % тантала, 19,90 % калия и 33,93 % фтора по массе. Тантал образуется при натриетермическом восстановлении этого вещества.

При получении тантала, необходимого для изготовления некоторой партии смартфонов, содержащих по 39,2 мг этого металла, был использован 1 кг рудного концентрата. Для проведения процесса натриетермического восстановления было взято 391 г натрия, а при последующем выщелачивании (удалении) избытка натрия этиловым спиртом выделилось 44,8 л (н.у.) водорода.

1. Проведите необходимые вычисления и определите химическую формулу соединения тантала; составьте уравнение его реакции с натрием.
2. Напишите уравнение реакции удаления избытка натрия и вычислите массу тантала, полученного для изготовления данной партии смартфонов (примите, что извлечение тантала происходит полностью).
3. Определите, сколько смартфонов было изготовлено.
4. Принимая, что тантал в концентрате находится в составе оксида Ta_2O_5 , вычислите массовую долю (%) оксида тантала в концентрате.
5. Вычислите массовую долю (%) тантала в руде, если при получении 1 кг концентрата было переработано 2,5 т руды.

Решение:



взято натрия 17 моль,

водорода выделилось 2 моль

со спиртом прореагировало 4 моль натрия

Прореагировало $n(Na) = 13$ моль

$n(Ta) = 2,6$ моль

$m(Ta) = 181 \cdot 2,6 = 470,6$ г

число смартфонов: $470,6 / (39,2 \cdot 10^{-3}) = 12005$ штук

Массовая доля тантала в оксиде: $w_{Ta} = 2 \cdot 181 / 442 = 0,819$

масса оксида тантала $470,6 / 0,819 = 574,6$ г

1 кг концентрата 57,46 % оксида

Массовая доля в руде: $[470,6 \cdot 10^{-3} / 2500 \cdot 10^3] \cdot 100 \% = 0,1882 \cdot 10^{-5} \% = 1,88 \cdot 10^{-2} \%$

Критерии оценивания:

1. Вычисления и определение химической формулы соединения тантала – **5 баллов**; уравнение его реакции с натрием - **5 баллов**.
2. Уравнение реакции удаления избытка натрия и вычисление массы тантала, полученного для изготовления данной партии смартфонов - **5 баллов**.
3. Определение количества смартфонов - **1 балл**.

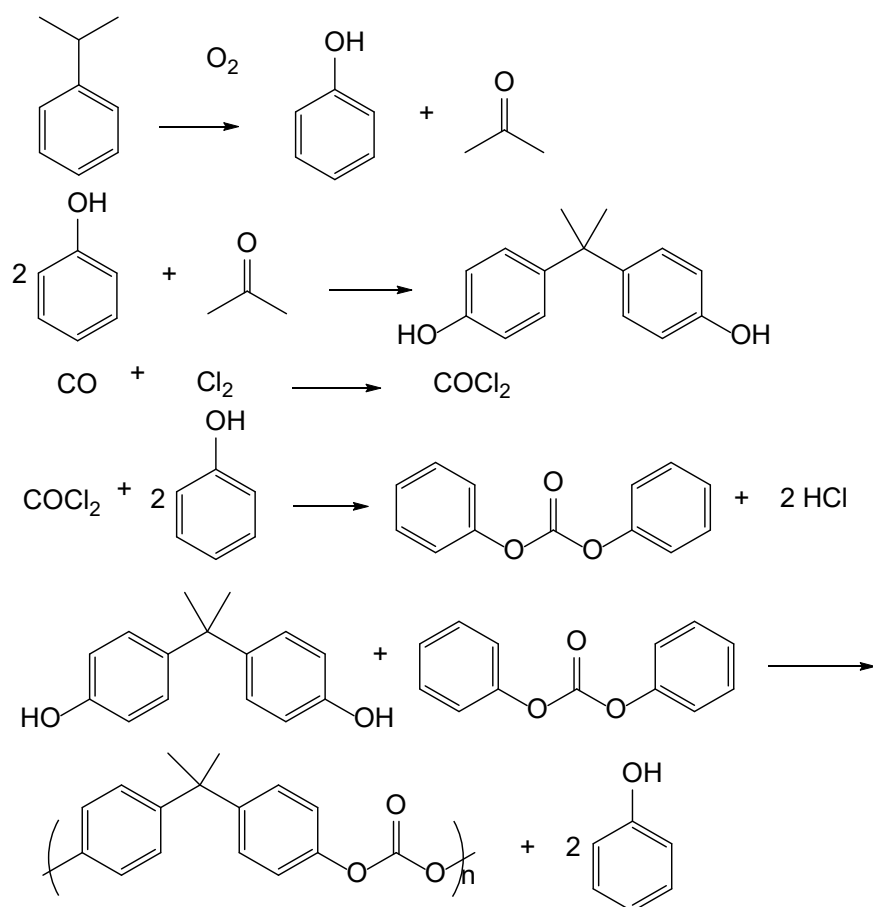
4. Вычисление массовой доли оксида тантала в концентрате - **3 балла**.
5. Вычисление массовой доли тантала в руде - **1 балл**.

Задание 10-2

При окислении кумола получены два продукта **А** и **Б** (*реакция 1*). Вещество **А** имеет большую молекулярную массу. При взаимодействии в кислой среде 2 моль **А** с 1 моль **Б** образуется вещество **В**, являющееся одним из ключевых мономеров в производстве эпоксидных смол и поликарбонатных пластиков (*реакция 2*). Неорганические вещества **Г** и **Д** являются ядовитыми газами, один тяжелее другого в 2,535 раза. При взаимодействии веществ **Г** и **Д** образуется ядовитый газ **Е** ($M = 99$ г/моль) (*реакция 3*). Вещество **Е** взаимодействует с 2 моль **А** с образованием сложного эфира угольной кислоты (органического карбоната) **Ж** (*реакция 4*). В результате реакции переэтерификации **Ж** с **В** образуется полимер **З**, широко используемый в качестве светопрозрачного материала в строительстве (*реакция 5*).

1. Изобразите структурные формулы веществ **А**, **Б**, **В**, **Ж**, **З**.
2. Запишите реакции 1-5 с указанием всех сопродуктов и условий их протекания.

Решение:



Критерии оценивания:

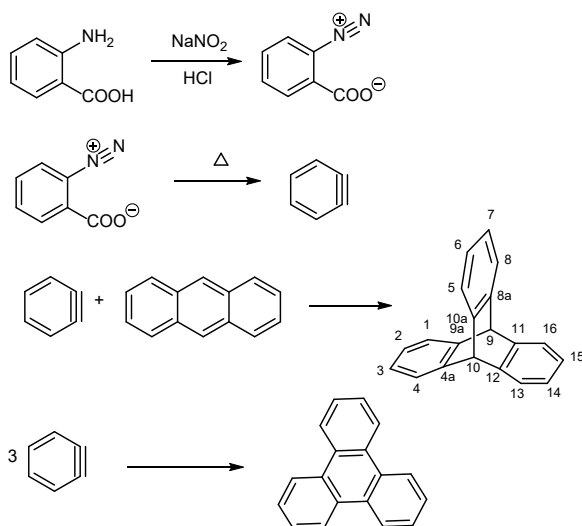
5 реакций по 2 балла

Задание 10-3

Реакция диазотирования антралиновой кислоты ($C_7H_7NO_2$) в присутствии нитрита натрия в кислой среде приводит к образованию достаточно стабильного (по сравнению с другими солями диазония) продукта **A** (реакция 1). При термическом воздействии или облучении вещество **A** разлагается с элиминированием азота и углекислого газа, что приводит к образованию высокореакционного соединения **B** ($M=76$ г/моль) (реакция 2). Образование **B** можно доказать взаимодействием с антраценом, протекающее с образованием соединения **B** ($M=254$ г/моль) (реакция 3). В отсутствие диенов вещество **B** претерпевает превращения, в том числе и с образованием вещества **Г** ($M=228$ г/моль) (реакция 4).

1. Установите строение веществ **A**, **B**, **B**, **Г**, изобразив структурные формулы и назовите соединение **B**.
2. Напишите уравнения реакций 1-4.

Решение:



Критерии оценивания:

1. Установление строения веществ **A**, **B**, **Г**, изобразив структурные формулы: $3 * 3 = 9$ баллов. Установление строения **B**: 2 балла, название **B**: 1 балл.
2. Реакции, упомянутые в задаче: по 2 балла

Задание 10-4

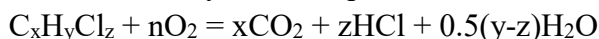
При сжигании неизвестного соединения **A**, которое является продуктом хлорирования некоторого углеводорода **B**, получили газовую смесь, плотность которой при температуре $150^\circ C$ и давлении 100 кПа составила 1,032 г/л. Известно, что соединение **A** реагирует со спиртовыми растворами щелочей, и на реакцию 0,2 моль **A** требуется взять 100 мл 30%-ного раствора КОН в спирте (плотность $1,12$ г/см³). Получаемое при этом соединение **B** содержит по данным элементного анализа 5,53% водорода, остальное — углерод и хлор.

1. Проведите необходимые вычисления, указывая единицы измерения найденных величин.

- Определите возможную молекулярную и структурную формулы хлорсодержащего соединения **A**, если известно, что оно — единственный продукт хлорирования некоторого углеводорода **B**.
- Определите возможные молекулярные и структурные формулы соединений **B** и **B**.

Решение:

1) Поскольку **B** – углеводород, в состав продукта его хлорирования **A** могут входить только атомы углерода, водорода и хлора. Уравнение реакции горения **A** в общем виде выглядит следующим образом:



2) При температуре 150°C и давлении 100 кПа все продукты горения будут находиться в газообразном состоянии. По плотности газовой смеси найдем ее среднюю молярную массу, используя формулу Менделеева-Клапейрона:

$$\rho = \frac{mRT}{MV} = \frac{\rho RT}{M}; \quad M = \frac{\rho RT}{\rho} = \frac{1.032 \cdot 8.31 \cdot 423}{10^5} \\ = 0.036276 \text{ (кг/моль)} \text{ или } 36.276 \text{ г/моль}$$

3) Поскольку средняя молярная масса газовой смеси – это отношение общей молярной массы смеси к общему количеству вещества, то с учетом уравнения реакции горения выражение для M_{cp} выглядит следующим образом:

$$M_{cp} = \frac{44x + 36.5z + 9(y-z)}{x + z + 0.5y - 0.5z} = \frac{44x + 9y + 27.5z}{x + 0.5y + 0.5z} = 36.276 \text{ (г/моль);}$$

$$7.724x - 9.138y + 9.362z = 0$$

4) Количество KOH, которое необходимо для реакции с 0.1 моль **A**:

$$m_{p-ра}(KOH) = \rho V = 112 \text{ (г)}; \quad m(KOH) = \omega \cdot m_{p-ра}(KOH) = 0.3 \cdot 112 = 33.6 \text{ (г)}; \quad n(KOH) = m/M = 0.6 \text{ моль.}$$

Таким образом, в реакции 1 моль исходного **A** с KOH уходит 3 моль HCl. Общая формула соединения **B** – $C_xH_{y-3}Cl_{z-3}$.

5) Уравнение для процентного содержания атомов водорода в соединении **B** выглядит следующим образом:

$$\omega(H) = \frac{y-3}{12x + y - 3 + 35.5(z-3)} = \frac{y-3}{12x + y + 35.5z - 109.5} = 0.0553;$$

$$0.6636x - 0.945y + 1.963z - 3.055 = 0$$

6) Выразив x в уравнении из п.1 и подставив его в уравнение из п.5, получаем уравнение с двумя неизвестными, их которого выразим y через z :

$$\text{из п.1: } 7.724x - 9.138y + 9.362z = 0 \\ x = 1.183y - 1.212z$$

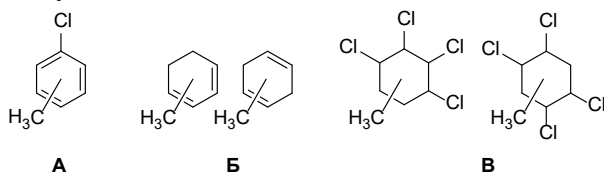
$$\text{из п.5: } 0.6636x - 0.945y + 1.963z - 3.055 = 0; \\ 0.786y - 0.805 - 0.945y + 1.963z - 3.055 = 0; \\ 1.158z - 0.159y - 3.055 = 0;$$

$$y = 7.283z - 19.214; \text{ где } z \text{ и } y - \text{ количества атомов хлора и водорода в соединении } \mathbf{A} \\ \text{соответственно.}$$

7) Поскольку при дегидрохлорировании соединения **A** (ушло 3 моль HCl) образовалось хлорсодержащее соединение **B**, логично предположить, что соединение **A** содержит

минимум 4 атома хлора. Подставив значение $z=4$ в уравнение из п.6 получим $y=10$. Тогда соединение **A** – $C_7H_{10}Cl_4$; **B** – C_7H_7Cl .

Соединение **A** — хлортолуол; **B** – метилтетрахлорциклогексан; **Б** – любой из возможных метилциклогексадиенов (1,3- или 1,4-). Углеводород **Б** не может быть насыщенным углеводородом (алканом или циклоалканом), поскольку его хлорирование на свету приведет к большому числу разнообразных хлорпроизводных. Структурные формулы могут быть отличны от представленных, если согласуются между собой и подходят под все условия задачи.

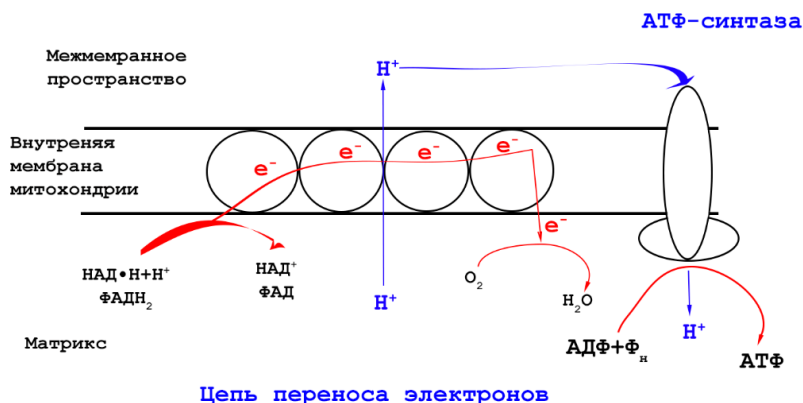
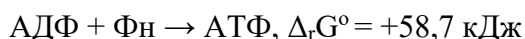


Критерии оценивания:

1. Запись уравнения горения **A** в общем виде — **2 балла**.
2. Нахождение средней молярной массы — **4 балла**.
3. Выражение для средней молярной массы продуктов горения через x, y, z (п.3) — **2 балла**.
4. Нахождение количества моль KOH — **1 балл**. Запись общей брутто-формулы соединения **B** — **1 балл**.
5. Запись выражения для процентного содержания водорода в **B** через x, y, z и его упрощение — **2 балла**.
6. Объединение двух уравнений с тремя неизвестными в одно с двумя неизвестными — **4 балла**.
7. Нахождение x, y, z и брутто-формулы соединений **A, Б, В** – **2 балла**.
8. Структурные формулы **A, Б, В** – **2 балла**.

Задание 10-5

АТФ (аденозинтрифосфат) - универсальная энергетическая молекула живых организмов. При ее расщеплении выделяется энергия, которая может быть потрачена на образование других веществ. АТФ образуется по реакции из АДФ (аденозиндифосфата) и Φ_H (неорганического фосфата) в результате движения протонов через мембрану митохондрии по АТФ-синтазе.



Эта реакция требует большого количества энергии, поступление которой обеспечивается за счет ряда последовательных окислительно-восстановительных реакций. Хотя за миллиарды лет эволюции эффективность работы этой молекулярной машины достигла необычайных высот, в предшествующей ей цепи передачи электронов часть энергии все-таки теряется. Так, потери в цепи кофермента флавинадениндинуклеотида (ФАД) для редокс пары ФАД/ФАДН₂ составляет 13,5 кДж, а из каждых десяти протонов, попавших в межмембранное пространство, через АТФ-азу проходит только семь.

Восстановитель	Окислитель	E°, В	n _e
ФАДН ₂	ФАД	- 0,03	2
H ₂ O	½ O ₂	+ 0,82	2

1. Составьте уравнение протекающей окислительно-восстановительной реакции с участием кофермента ФАД/ФАДН₂.
2. Используя данные из таблицы, рассчитайте энергию этой реакции (кДж).
3. Рассчитайте число молекул АТФ, которое можно получить из одной молекулы восстановленного ФАДН₂.
4. Составьте суммарное уравнение реакции биохимического синтеза АТФ.

Решение:

- 1) Нужно рассчитать разность потенциала между окислителем и восстановителем. Возьмем значения потенциала для ФАД/ФАДН₂ и значение для пары O₂/H₂O

$$E = 0,82 - (-0,03) = 0,85 \text{ В}$$

- 2) Находим значение энергии Гиббса для этой реакции

$$\Delta_r G^\circ = - 2 * 96500 * 0,85 = -164050 \text{ Дж/моль} = -164,1 \text{ кДж/моль}$$

- 3) Учитывая, что комплекс II не участвует в перекачке протонов, то выделяющаяся энергия рассеивается в виде тепла, иначе говоря, теряется. Найдем эти потери:
(0,04 - (- 0,03)) * 96500 * 2 = - 13,5 кДж/моль

- 4) Учитывая эти потери и потерю 30% (3/10*100%=30%) энергии при перекачке протонов, находим:
-164,1 * 0,7 - 13,5 = -101,3 кДж/моль

- 5) Рассчитываем затраты энергии на образование АТФ, складывая уравнения с $\Delta_r G^\circ$, и прибавляем к полученной величине 26,7 кДж/моль, которые затрачены на отрыв АТФ от фермента. 32+26,7=58,7 кДж/моль

- 6) Находим количество молекул АТФ на 1 молекулу восстановленного ФАД:
101,3 / 58,7 ≈ 1,7 молекул АТФ

Критерии оценивания:

1. Составление уравнения – **2 балла.**
2. Расчет энергии – **5 баллов.**
3. Расчет числа молекул АТФ – **10 баллов.**
4. Суммарное уравнение реакции – **3 балла.**



ОТКРЫТАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА
заключительный этап

09.02.2025 г.