

10 класс  
Вариант 1

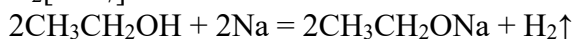
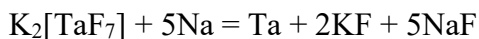
**Задание 10-1**

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.

На получение тантала, необходимого для изготовления партии из 15 тысяч смартфонов, потребовалось переработать 4 т руды. Для проведения процесса натриетермического восстановления было взято 460 г натрия, а при последующем выщелачивании (удалении) избытка натрия этиловым спиртом выделилось 56 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 массу (мг) тантала в смартфоне данной партии.
4. Вычислите массовую долю (%) тантала в руде.
5. Вычислите, во сколько раз масса концентрата меньше массы руды, если концентрат содержит 50 %  $Ta_2O_5$ .

**Решение:**



Не использовано натрия

$$n(Na) = n(H_2) \cdot 2 = 56 \cdot 2 / 22.4 = 5 \text{ моль}$$

Прореагировало натрия:

$$460/23 - 5 = 20 - 5 = 15 \text{ моль}$$

$$n(Ta) = 15/5 = 3 \text{ моль}$$

$$m(Ta) = 181 \cdot 3 = 543 \text{ г}$$

$$\text{в одном смартфоне } 543/15000 = 0,0362 \text{ г} = 36,2 \text{ мг}$$

$$\text{Массовая доля в руде: } [543 \cdot 10^{-3} / 4000 \cdot 10^3] \cdot 100 \% = 1,36 \cdot 10^{-7} \cdot 100 \% = 1,36 \cdot 10^{-2} \%$$

$$M(Ta_2O_5) = 442$$

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

$$\text{масса оксида, содержащего 543 г тантала: } 543 / 0,819 = 663 \text{ г}$$

$$\text{масса концентрата: } 663 \cdot 2 = 1326 \text{ г}$$

$$\text{Отношение масс руды и концентрата: } 4000 / 1,326 = 3016$$

**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 массы тантала в смартфоне данной партии - **1 балл**.

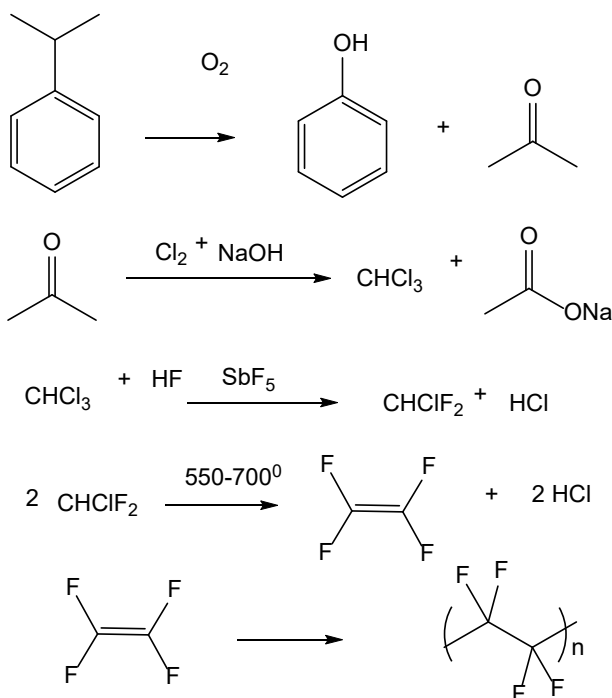
4. Вычисление массовой доли тантала в руде - **1 балл**.
5. Вычисление во сколько раз масса концентрата меньше массы руды - **3 балла**.

### Задание 10-2

При окислении кумола получены два продукта **А** и **Б** (*реакция 1*). Вещество **А** благодаря своей относительно низкой токсичности находит широкое применение в различных областях, от парфюмерии до синтеза лекарств. Оно также является одним из продуктов метаболизма в организме человека. В крови здорового человека его содержится очень мало, однако при патологических состояниях, например, при сахарном диабете, его концентрация может повышаться до 20 ммоль/л. Взаимодействие вещества **А** с хлором и щелочью приводит к образованию хлорсодержащего растворителя **В** с плотностью по воздуху 4,12 (*реакция 2*). Вещество **В** в реакции с фтороводородом в присутствии пентафторида сурьмы приводит к образованию соединению **Г** (молекулярная масса соединения **Г** на 27,6 % меньше молекулярной массы соединения **В**) (*реакция 3*). Пиролиз (550-750°C) вещества **Г** приводит к образованию мономера **Д** с молекулярной массой 100 а.е.м. (*реакция 4*). Полимеризация мономера **Д** приводит к образованию полимера **Е** (*реакция 5*), который может быть найден в любом доме.

1. Изобразите структурные формулы веществ **А**, **В**, **Г**, **Д** и **Е**.
2. Запишите реакции 1-5 с указанием всех сопродуктов и условий их протекания.

### Решение:



### Критерии оценивания:

За каждую реакцию по 2 балла (в реакциях 2,3,4 если не указаны другие продукты, то неполные баллы (по 1 баллу)).

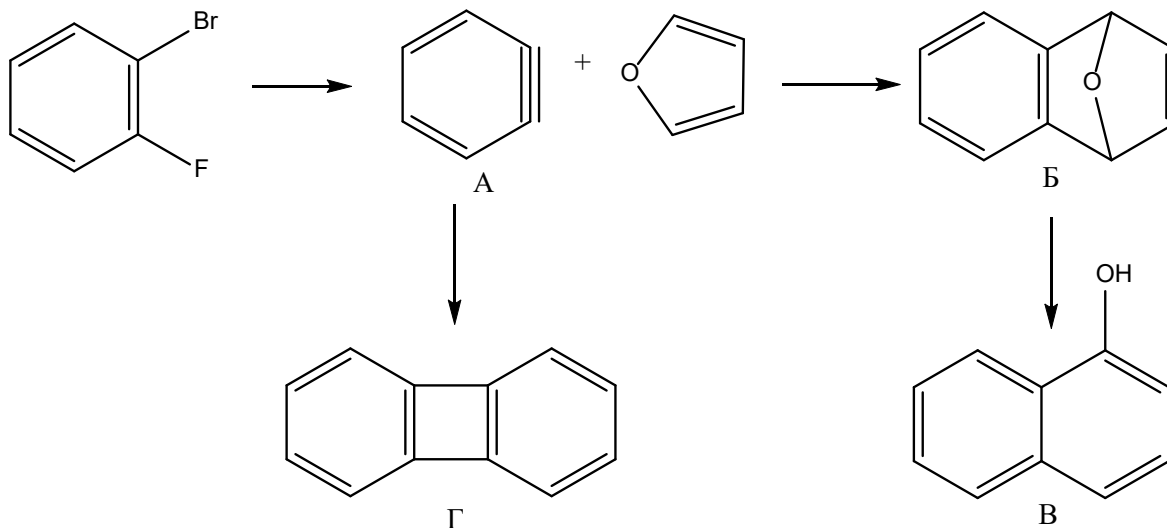
### Задание 10-3

Реакция нуклеофильного ароматического замещения может протекать по различным механизмам, одним из которых является механизм отщепления-присоединения ( $S_NEA$ ), в процессе которого образуется чрезвычайно реакционный интермедиат. Для его улавливания используют реакцию Дильса-Альдера.

Соединение **A** ( $M = 74$  г/моль) образуется при встряхивании *o*-бромфторбензола с амальгамой лития (*реакция 1*). Полученное вещество **A** разделили. На одну часть действовали фураном для получения вещества **B** ( $M = 144$  г/моль) (*реакция 2*). Вещество **B** обработали кислотой и получили вещество **B** (*реакция 3*). Другую часть соединения **A** оставили без воздействия, через некоторое время образовалось вещество **Г** (*реакция 4*).

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

Решение:



**Критерии оценивания:**

1. Установление строения веществ **B**, **B**, **Г**, изобразив структурные формулы и назвав соединения:  $3 \cdot 3 = 9$  баллов. Строение **A**: 2 балла, название **A**: 1 балл.
2. Реакции, упомянутые в задаче: 1 – 1 балл; 2- 3 балла; 3- 2 балла; 4 - 2 балла

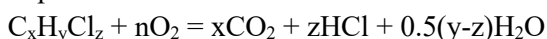
### Задание 10-4

При сжигании неизвестного соединения **A**, которое является продуктом хлорирования некоторого углеводорода **B**, получили газовую смесь, плотность которой при температуре  $120^\circ\text{C}$  и давлении 100 кПа составила 1,138 г/л. Известно, что соединение **A** реагирует со спиртовыми растворами щелочей, и на реакцию 0,1 моль **A** требуется взять 35 мл 40%-ного раствора KOH в спирте (плотность  $1,2$  г/см<sup>3</sup>). Получаемое при этом соединение **B** содержит по данным элементного анализа 4,44% водорода, остальное — углерод и хлор.

1. Проведите необходимые вычисления, указывая единицы измерения найденных величин.
2. Определите возможную молекулярную и структурную формулы хлорсодержащего соединения **A**, если известно, что оно — единственный продукт хлорирования некоторого углеводорода **B**.
3. 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 120°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:

$$\rho = \frac{mRT}{MV} = \frac{\rho RT}{M}; \quad M = \frac{\rho RT}{\rho} = \frac{1.138 \cdot 8.31 \cdot 393}{10^5} = 0.037165 \text{ (кг/моль)} \text{ или } 37.165 \text{ г/моль}$$

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:

$$M_{cp} = \frac{44x + 36.5z + 9(y-z)}{x + z + 0.5y - 0.5z} = \frac{44x + 9y + 27.5z}{x + 0.5y + 0.5z} = 37.165 \text{ (г/моль);}$$

$$6.835x - 9.583y + 8.918z = 0$$

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

$$m_{p-pa}(KOH) = \rho V = 42 \text{ (г); } m(KOH) = \omega \cdot m_{p-pa}(KOH) = 0.4 \cdot 42 = 16.8 \text{ (г); } n(KOH) = m/M = 0.3 \text{ моль.}$$

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:

$$\omega(H) = \frac{y-3}{12x + y - 3 + 35.5(z-3)} = \frac{y-3}{12x + y + 35.5z - 109.5} = 0.0444;$$

$$0.533x - 0.956y + 1.576z - 1.862 = 0$$

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  $z$ :

$$\text{из п.1: } 6.835x - 9.583y + 8.918z = 0$$

$$x = 1.402y - 1.305z$$

$$\text{из п.5: } 0.533x - 0.956y + 1.576z - 1.862 = 0;$$

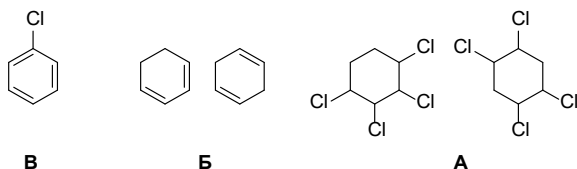
$$0.747y - 0.696 - 0.956y + 1.576z - 1.862 = 0;$$

$$0.880z - 0.209y - 1.862 = 0;$$

$y = 4.211z - 8.909$ ; где  $z$  и  $y$  – количества атомов хлора и водорода в соединении **A** 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  $y=8$ . Тогда соединение **A** –  $C_6H_8Cl_4$ ; **B** –  $C_6H_5Cl$ .

Соединение **B** — хлорбензол; **A** – тетрахлорциклогексан; **B** – любой из возможных циклогексадиенов (1,3- или 1,4-). Углеводород **B** не может быть циклогексаном поскольку его хлорирование на свету приведет к большому числу разнообразных хлорпроизводных.

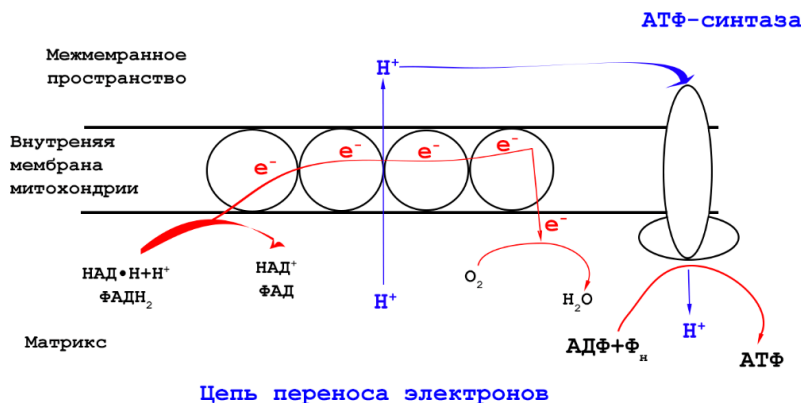
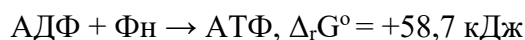


**Критерии оценивания:**

1. Запись уравнения горения А 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 КОН — **1 балл**. Запись общей брутто-формулы соединения В — **1 балл**.
5. Запись выражения для процентного содержания водорода в В 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 А, Б, В — **2 балла**.
8. Структурные формулы А, 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  $\Phi_H$  (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 дыхательной цепи кофермента никотинамидадениндинуклеотида (НАД) для редокс-пары  $\text{НАД}^+ / (\text{НАД} \cdot \text{H} + \text{H}^+)$  составляют 10,4 кДж, а из каждых десяти протонов, попавших в межмембранное пространство, через АТФ-синтазу проходит только семь.

Восстановитель	Окислитель	$E^0, \text{В}$	$n_e$
$\text{НАД} \cdot \text{H} + \text{H}^+$	$\text{НАД}^+$	- 0,32	2
$\text{H}_2\text{O}$	$\frac{1}{2} \text{O}_2$	+ 0,82	2

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

**Решение:**

- 1) Нужно рассчитать разность потенциала между окислителем и восстановителем. Возьмем значения потенциала для  $\text{НАД}^+/\text{НАД}\cdot\text{Н} + \text{Н}^+$  и значение для пары  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$

$$E = 0,82 - (-0,32) = 1,14 \text{ В}$$

- 2) Находим значение энергии Гиббса для этой реакции

$$\Delta_r G^\circ = -2 * 96500 * 1,14 = -220\,020 \text{ Дж/моль} = -220 \text{ кДж/моль}$$

- 3) Учитывая потери в 10,4 кДж для пары  $\text{НАД}^+/\text{НАД}\cdot\text{Н} + \text{Н}^+$  и потерю 30% ( $3/10 * 100\% = 30\%$ ) энергии при перекачке протонов находим:  
 $-220 * 0,7 - 10,4 = -143,6 \text{ кДж/моль}$

- 4) 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.  $32 + 26,7 = 58,7$

- 5) Находим количество молекул АТФ на 1 молекулу восстановленного НАД:  
 $143,6 / 58,7 \approx 2,5$  молекул АТФ

- 6)  $\text{НАД}\cdot\text{Н} + \text{Н}^+ + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2,5\text{АДФ} + 2,5\text{Фн} \rightarrow \text{НАД}^+ + 2,5\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O}$

**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.**