

Методика решения задачи ЕГЭ «Нахождение молекулярной формулы вещества»

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Вопросы к рассмотрению

- Примеры задач №33 из ЕГЭ по химии
- Способы быстрого выведения формулы органического вещества в зависимости от условия задачи



Задача №33

- Ежегодно, при выполнении задания №33 ЕГЭ по химии, многие абитуриенты сталкиваются с трудностями. Среди них можно обозначить такие, как: непонимание механики и логики протекания реакций в органической химии, большое количество специфических химических реакций, недостаточность навыков в составлении гомологов и изомеров веществ, а также в составлении структурных формул веществ.
- Согласно статистике по Свердловской области за 2023/2024 учебный год, среди участников ГИА-11 по химии с итоговым баллом ниже порогового не справившихся с заданием №33; среди участников ГИА-11 по химии с итоговым баллом от минимального до 60 лишь 7% справляются с этим заданием; из участников ГИА-11 по химии с итоговым баллом от 61 до 80 с заданием №32 справляются 51% обучающихся; лучше всего справляются с заданием участники ГИА-11 по химии с итоговым баллом от 81 до 100 – 96% участников экзамена.
- В основном, задача №33 имеет две разновидности: массовые доли элементов даны заранее или придётся считать количество элементов в веществе по продуктам сгорания. Составление формулы органического вещества может осуществляться достаточно быстро, если уметь пользоваться массовыми долями или моль элементов.

Пример 1

- *Пример 1. Органическое вещество А содержит 13,58% азота, 8,80% водорода и 31,03% кислорода по массе и образуется при взаимодействии органического вещества Б с этанолом в молярном соотношении 1:1. Известно, что вещество Б имеет природное происхождение и способно взаимодействовать как с кислотами, так и со щелочами.*
- Далее нас просят рассчитать и составить молекулярную формулу вещества, составить структурную формулу (отражающую расположение групп в веществе) и записать указанное в условии задачи уравнение реакции.
- С чего начать решение этой задачи? В условии есть очень прозрачный намёк на то, к какому классу принадлежит это вещество. Исходя из условия, вещество обладает амфотерными свойствами, т.к. способно реагировать как с кислотами, так и со щелочами. Таких соединений в органике немного. Природное вещество, содержащее кислород и азот. Скорее всего, вещество Б – это аминокислота, а вещество А – сложный эфир аминокислоты, т.к. реагирует с этанолом в соотношении 1:1. Осталось подтвердить догадки расчётами.

Пример 1

- В этой задаче заранее даны массовые доли элементов. Соотношение элементов друг к другу в составе вещества можно быстро найти через такое соотношение: $w(\text{C})/A_r(\text{C}) : w(\text{H})/A_r(\text{H}) : w(\text{O})/A_r(\text{O}) : w(\text{N})/A_r(\text{N})$. Таким образом можно найти относительные количества элементов в веществе (которые станут индексами в формуле), чтобы в дальнейшем вывести молекулярную формулу. Совершенно необязательно искать для каждого элемента его моль.
- В этой задаче не хватает только массовой доли углерода С, которую можно легко найти: $w(\text{C}) = 100\% - w(\text{H}) - w(\text{O}) - w(\text{N}) = 46,59\%$.
- Теперь составим соотношение (не забываем перевести проценты единицы):
- $w(\text{C})/A_r(\text{C}) : w(\text{H})/A_r(\text{H}) : w(\text{O})/A_r(\text{O}) : w(\text{N})/A_r(\text{N})$
- $0,4659/12 : 0,088/1 : 0,3103/16 : 0,1358/14$
- $0,0388 : 0,088 : 0,0194 : 0,0097$ (округлять стоит до тысячных)
- Далее надо разделить все элементы полученного соотношения на наименьшее из всех, т.е. на 0,0097. Получаем такое соотношение:
- $4 : 9,07 : 2 : 1$ (9,07 можно округлить до 9)
- $4 : 9 : 2 : 1$
- Значит, молекулярная формула вещества А выглядит, как $\text{C}_4\text{H}_9\text{O}_2\text{N}$.

Пример 2

- *Пример 2. При сгорании 2,16 г органического вещества А образуется 2,52 л (н. у.) углекислого газа, 1,215 г воды и 0,795 г карбоната натрия. Вещество А образуется при действии гидроксида натрия на вещество Б, два заместителя в молекуле которого расположены у соседних атомов углерода.*
- Как и в предыдущей задаче, нас просят рассчитать и составить молекулярную формулу вещества, составить структурную формулу (отражающую расположение групп в веществе) и записать указанное в условии задачи уравнение реакции.

Пример 2

- В данной задаче есть продукты сгорания органического вещества. Для такого типа задач также имеется небольшой «лайфхак». Для того, чтобы составить соотношение элементов друг к другу, нужно будет найти их количества (моль). Найти моль каждого элемента нужно будет по продуктам сгорания. Нужно запомнить несколько нюансов:
- $n(\text{C}) = c(\text{CO}_2)$
- $n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O})$
- $n(\text{N}) = 2n(\text{N}_2)$
- $n(\text{Cl}) = n(\text{HCl})$ (с бромоводородом по аналогии)
- $n(\text{ЩМ}) = 2n(\text{ЩМ}_2\text{CO}_3)$
- $n(\text{ЩЗМ}) = n(\text{ЩЗМCO}_3)$
- Количество моль кислорода по такому пути вычислить нельзя, т.к. кислород выделяется в нескольких веществах одновременно. Его моль можно найти, если найти его массу.
- Для чего нам находить моль каждого элемента? Для того, чтобы найти их массу и найти через них массу кислорода.

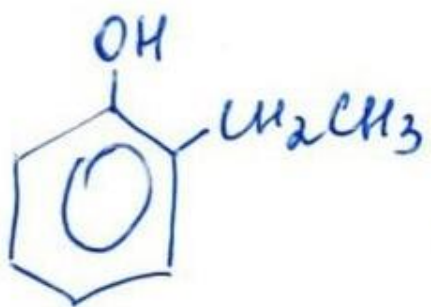
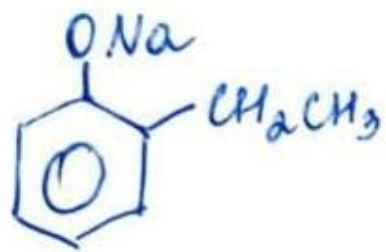
Пример 2

- Итак, по условию задачи нам даны объём и массы продуктов сгорания. Рассчитаем количество каждого элемента:
- Для конкретной задачи $n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) + n(\text{Na}_2\text{CO}_3)$
- $n(\text{CO}_2) = 2,52 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,1125 \text{ моль}$
- $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,795 \text{ г} / 106 \text{ г/моль} = 0,0075 \text{ моль}$
- $n(\text{C}) = 0,0075 \text{ моль} + 0,1125 \text{ моль} = 0,12 \text{ моль}$
- $n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 2*(1,215 \text{ г} / 18 \text{ г/моль}) = 0,135 \text{ моль}$
- $n(\text{Na}) = 2n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2*0,0075 \text{ моль} = 0,015 \text{ моль}$
-
- Теперь найдём количество кислорода через его массу:
- $m(\text{O}) = m(\text{вещества}) - m(\text{Na}) - m(\text{H}) - m(\text{C}) = 2,16 \text{ г} - (0,015 \text{ моль} * 23 \text{ г/моль}) - (0,135 \text{ моль} * 1 \text{ г/моль}) - (0,12 \text{ моль} * 12 \text{ г/моль}) = 2,16 \text{ г} - 0,345 \text{ г} - 0,135 \text{ г} - 1,44 \text{ г} = 0,24 \text{ г}.$
- $n(\text{O}) = 0,24 \text{ г} / 16 \text{ г/моль} = 0,015 \text{ моль}.$

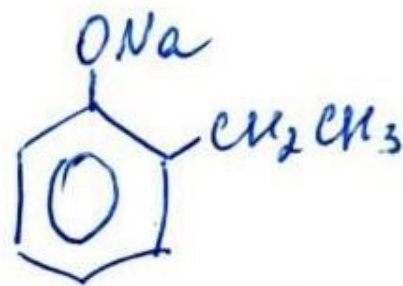
Пример 2

- Теперь можно составить соотношение количеств элементов друг к другу:
- $C : H : O : Na = 0,12 : 0,135 : 0,015 : 0,015$ (делим каждый элемент соотношения на наименьший, т.е. на 0,015)
- $8 : 9 : 1 : 1$
- Молекулярная формула вещества C_8H_9ONa
- Количество атомов водорода наталкивает на мысль о том, что соединение содержит ароматическое ядро. Или можем пойти по другому пути: со щелочами вступают такие органические вещества, как фенол и его производные, карбоновые кислоты, аминокислоты, галогенуглеводороды. Кислоты не подходят по количеству атомов водорода, галогенуглеводороды – по понятным причинам. Под описание и под формулу подходит производное фенола. В бензольном кольце 6 атомов углерода, значит, есть боковая цепь в виде этилового заместителя. Учитывая условие задачи, под описание подходит 2-этилфенолят натрия.

Пример 2



+ NaOH



+ H₂O

Новый тип задач. Пример 3

- В новом типе задач нам приходится работать с понятием «общая формула класса». Вспомним основные общие формулы:

Алканы	C_nH_{2n+2}	Простые эфиры	$C_nH_{2n+2}O$
Алкены	C_nH_{2n}	Альдегиды	$C_nH_{2n}O$
Циклоалканы	C_nH_{2n}	Кетоны	$C_nH_{2n}O$
Алкины	C_nH_{2n-2}	Предельные карбоновые кислоты	$C_nH_{2n}O_2$
Алкадиены	C_nH_{2n-2}	Сложные эфиры	$C_nH_{2n}O_2$
Арены (ароматические углеводороды)	C_nH_{2n-6}	Фенолы	$C_nH_{2n-6}O$
Предельные одноатомные спирты	$C_nH_{2n+2}O$	Двухатомные спирты	$C_nH_{2n+2}O_2$
		Трёхатомные спирты	$C_nH_{2n+2}O_3$

Новый тип задач. Пример 3

Предельные амины	$C_nH_{2n+3}N$	Аминокислоты (предельные одноосновные)	$C_nH_{2n+1}NO_2$
Ароматические амины	$C_nH_{2n-5}N$	Нитросоединения	$C_nH_{2n+1}NO_2$

- В данном типе задач важно выйти на расчёт молярной массы неизвестного вещества. Попробуем решить такую задачу:
- **На гидролиз 14,8 г сложного эфира, образованного муравьиной кислотой и алканолом, потребовался раствор массой 40 г с $w(NaOH) = 20\%$. Установите молекулярную и структурную формулы вещества, запишите описанное уравнение реакции.**
- Итак, с чего начать решение? С учётом описанного, нам подойдёт такая общая формула: $C_nH_{2n}O_2$.
- Важно найти молярную массу сложного эфира. Специально для этого нам дан раствор NaOH, которым мы и воспользуемся. В реакциях щелочного гидролиза сложных эфиров с гидроксидом натрия коэффициенты равны и соотносятся, как 1:1. Согласно закону кратных соотношений Дальтона, количество молей NaOH будет равно количеству молей сложного эфира. Найдём n (NaOH):
- $m(NaOH) = m(p-ра) * w(NaOH) = 40 \text{ г} * 0,2 = 8 \text{ г}$.
- $n(NaOH) = m(NaOH) / M(NaOH) = 8 \text{ г} / 40 \text{ г} = 0,2 \text{ моль}$.

Новый тип задач. Пример 3

- Итак, $n(\text{NaOH}) = 0,2$ моль. Значит, n для сложного эфира тоже будет равно $0,2$ моль. Нам дана масса эфира по условию задачи. Значит, мы можем найти его молярную массу:
- $M(\text{эфира}) = m(\text{эфира}) / n(\text{эфира}) = 14,8 \text{ г} / 0,2 \text{ моль} = 74 \text{ г/моль}$
- Теперь, зная общую формулу вещества и его молярную массу, мы можем составить уравнение:
- $12n + 2n + 32 = 74$, где n – количество атомов углерода;
- $14n = 4$;
- $n = 3$.
- Молекулярная формула эфира – $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$.
- В условии задачи сказано, что эфир состоит из муравьиной кислоты. Значит, это этиловый эфир муравьиной кислоты $\text{H} - \text{C}(\text{O})\text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$. Структурная формула готова. Осталось уравнение реакции:
- $\text{H} - \text{C}(\text{O})\text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{H} - \text{C}(\text{O})\text{O} - \text{Na} + \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{OH}$

Решаем задачи

При сгорании 40,95 г органического вещества получили 39,2 л углекислого газа (н. у.), 3,92 л азота (н. у.) и 34,65 г воды. При нагревании с соляной кислотой данное вещество подвергается гидролизу, продуктами которого являются соединение состава $C_2H_6NO_2Cl$ и вторичный спирт.

При сгорании органического вещества А массой 0,8 г получено 896 мл (н. у.) углекислого газа и 576 мг воды. Известно, что вещество А вступает в реакцию с раствором гидроксида бария при нагревании, в результате чего образуется предельный одноатомный спирт и соль, кислотный остаток которой содержит три атома углерода.

Вторичный алифатический амин А массой 8,85 г вступает в реакцию соединения с бромэтаном, в результате образуется вещество Б массой 25,2 г (выход реакции считать количественным).

При сгорании органического вещества А массой 13,95 г получили 5,6 л (н. у.) углекислого газа и 6,72 л (н. у.) хлороводорода. При гидролизе вещества А в присутствии гидроксида натрия образуется органическая соль Б, не содержащая атомов хлора. Молекула вещества А содержит четвертичный атом углерода.