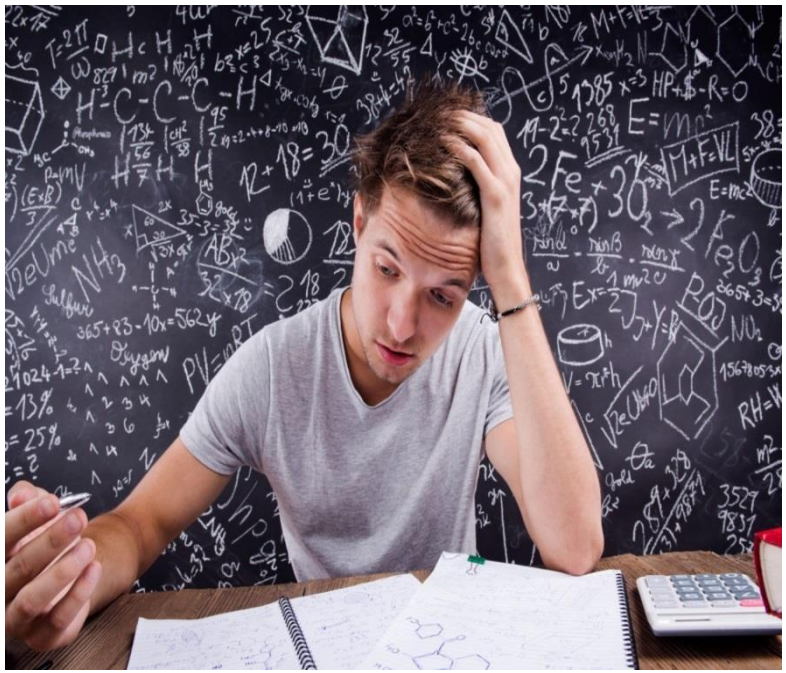
Государственное автономное учреждение дополнительного профессионального образования
Ярославской области

Институт развития образования

ЕГЭ ОГЭ ГВЭ



Подготовка к ЕГЭ-2026

«Алгоритм решения задач на нахождение молекулярной формулы органического вещества

(задание №33 ЕГЭ по химии)

Лебедева Ирина Владимировна,
учитель химии высшей категории
МОУ СОШ « Образовательный комплекс «Классика» ОЦ «Гимназия № 8 имени Л.М. Марасиновой» г. Рыбинск

19.12.2025

Задание №33

Уровень сложности: высокий

Оценивание : 3 балла

Ответ правильный и полный:

• правильно произведены вычисления, необходимые для установления молекулярной формулы вещества, и записана молекулярная формула вещества;

• записана структурная формула органического вещества, которая отражает порядок связи и взаимное расположение заместителей и функциональных групп в молекуле в соответствии с условием задания;

• записано уравнение реакции, на которую даётся указание в условии задания, с использованием структурной формулы органического вещества

Справляемость - 22,49%

Типы задач в задании 33

1. Определение молекулярной формулы вещества по массовым долям химических элементов или по общей формуле вещества, а затем его структурной формулы по химическим свойствам;

2. Определение молекулярной формулы вещества по продуктам сгорания, а затем его структурной формулы по химическим свойствам.

Необходимые теоретические сведения

1. **Массовая доля элемента в веществе**

$$\omega(Э) = \frac{A_r(Э) \cdot x}{M_r} \text{ (в долях единицы).}$$

$$\omega(Э) = \frac{A_r(Э) \cdot x}{M_r} \cdot 100\% \text{ (в процентах).}$$

x — количество атомов в веществе.

2. **Молекулярная и простейшая формула вещества**

Вещество	Молекулярная формула	Соотношение атомов	Простейшая формула
Этанол	C_2H_6O	C:H:O =2:6:1	C_2H_6O
Бутен	C_4H_8	C:H =1:2	CH_2
Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	C:H:O =1:2:1	CH_2O

3. **Относительная плотность газа X по газу Y**

M (возд.) =29г/моль

$$D_2 = \frac{Mr(1)}{Mr(2)}$$

4. **Абсолютная плотность газа при н.у.**

$$\rho_o = \frac{M_{газа}}{V_m}$$

5. Общие формулы веществ разных классов

Класс органических веществ	Общая молекулярная формула	Формула с выделенной кратной связью и функциональной группой
Алканы	C_nH_{2n+2}	—
Алкены	C_nH_{2n}	$C_nH_{2n+1} - CH = CH_2$
Алкины	C_nH_{2n-2}	$C_nH_{2n+1} - C \equiv CH$
Диены	C_nH_{2n-2}	—
Гомологи бензола	C_nH_{2n-6}	$C_6H_5 - C_nH_{2n+1}$
Предельные одноатомные спирты	$C_nH_{2n+2}O$	$C_nH_{2n+1} - OH$
Многоатомные спирты	$C_nH_{2n+2}O_x$	$C_nH_{2n+2-x}(OH)_x$
Предельные альдегиды	$C_nH_{2n}O$	$C_nH_{2n+1} - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - H$
Кетоны	$C_nH_{2n}O$	$C_nH_{2n+1} - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - C_mH_{2m+1}$
Фенолы	$C_nH_{2n-6}O$	$C_6H_5(C_nH_{2n}) - OH$
Предельные карбоновые кислоты	$C_nH_{2n}O_2$	$C_nH_{2n+1} - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - OH$
Сложные эфиры	$C_nH_{2n}O_2$	$C_nH_{2n+1} - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - O - C_mH_{2m+1}$
Амины	$C_nH_{2n+3}N$	$C_nH_{2n+1}NH_2$
Аминокислоты (предельные одноосновные)	$C_nH_{2n+1}NO_2$	$NH_2 - \underset{\underset{C_nH_{2n+1}}{\|}}{CH} - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - OH$

I тип. Определение формулы вещества по известному элементарному составу

Органическое вещество А, широко используемое в производстве пластмасс, состоит из трёх элементов. Оно содержит 5,66 % водорода и 26,42 % азота по массе. Вещество А образуется при окислении пропена кислородом воздуха в присутствии аммиака. Оно легко вступает в реакции полимеризации и сополимеризации. Определите молекулярную формулу вещества А, установите его структуру и напишите уравнение полимеризации.

ШАГ №1 Анализируем условие задачи:

Дано:

ω(H) =5,66%

ω(N)= 26,42 %

Найти:

CxHyNz - ?

Шаг №2 Определяем молекулярную формулу вещества А

1. ω *(C)*= 100 – 5,66 – 26,42= 67,92%

2. *x:y:z= ω (C)/Ar(C): ω(H)/Ar(H): ω(N)/Ar(N) =*

= (67,92 / 12) : (5,66 / 1) : (26,42 / 14) =

= 5, 66 : 5,66 : 1,88 = 3 : 3 : 1

- Простейшая формула – C_3H_3N

3. *Вещество А образуется при окислении пропена кислородом воздуха в присутствии аммиака.*

Так как вещество образуется при окислении пропена и, следовательно, содержит не больше трёх атомов углерода.

- Молекулярная формула – C_3H_3N.

Шаг №3 Определяем структурную формулу

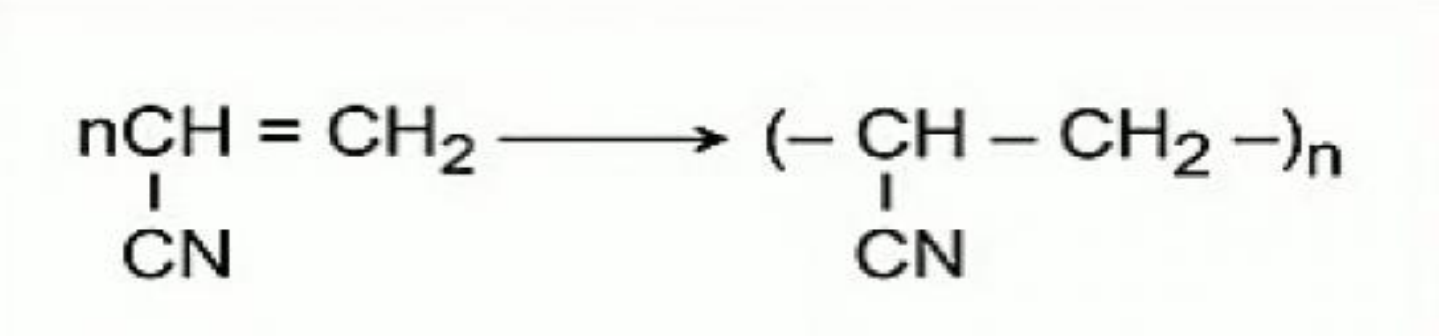
Оно легко вступает в реакции полимеризации и сополимеризации.

Судя по тому, что вещество легко полимеризуется, оно содержит двойную связь C=C. Атом азота входит в состав нитрильной группы –C≡N.

- CH_2=CH–C≡N – структурная формула
- Вещество А – акрилонитрил

Рекомендации: структурные формулы составляем согласно валентности элементов: C(IV), H(I), N(III), O(II)

Шаг №4 Записываем уравнение реакции указанное в задание (р. полимеризации):



Ответ : CH_2=CH–C≡N

Рекомендации: В задачах на нахождение формул органических веществ часто требуется сравнить относительную молекулярную массу простейшей формулы с истинной, найденной по условию задачи. Отношение этих масс дает число, на которое надо умножить индексы простейшей формулы

II тип. Определение формулы вещества по известной общей формуле и массовой доле одного из элементов

Дихлорпроизводное алкана содержит 5,31% водорода по массе. Определите молекулярную формулу дихлоралкана. Приведите структурную формулу одного из возможных изомеров и назовите его.

1.Общая формула дихлоралкана $C_nH_{2n}Cl_2$, его молекулярная масса Mr = 14n+71

2. Массовая доля водорода равна $$w(H) = \frac{2n \cdot A_r(H)}{M_r}$$

3. Решаем уравнение 0,0531(14n+71) = 2n, n = 3

4.Формула дихлоралкана $C_3H_6Cl_2$

Возможный изомер CH_3-CH_2-$CHCl_2$ – 1,1- дихлорпропан

Рекомендации: в большинстве случаев желательно, чтобы эта общая формула показывала функциональные группы вещества.

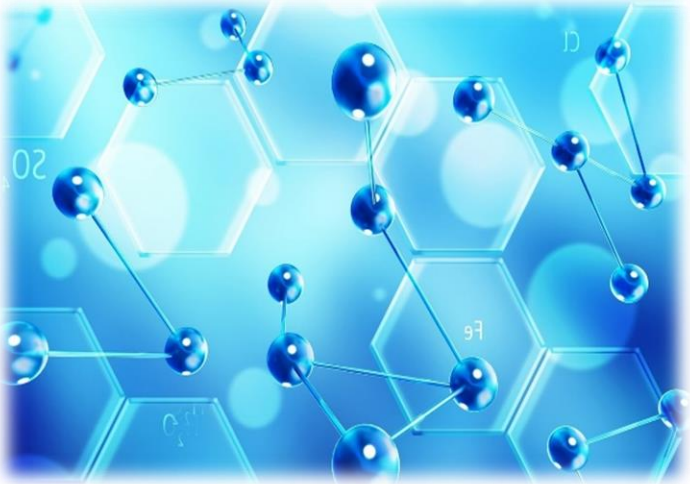
Например, спирты (R-OH или $C_nH_{2n+1}OH$), альдегиды (R-CHO или C_nH_{2n+1}-CHO), карбоновые кислоты (R-COOH или C_nH_{2n+1}-COOH), сложные эфиры (R_1-COO-R_2 или C_nH_{2n+1}-COO-C_mH_{2m+1}) и др.

III тип. Определение формулы вещества по продуктам сгорания

Пример 1. *При сгорании газообразного органического вещества, не содержащего кислород, выделилось 4,48 л углекислого газа (н.у.), 3,6 г воды и 2 г фтороводорода. Установите молекулярную формулу соединения.*

ШАГ №1 Анализируем условие задачи:

Дано:
V (CO_2)= 4,48 л
m (H_2O)= 3,6 г
m (HF) = 2 г
Найти:
CxHyFz



Шаг №2 Определяем простейшую формулу вещества А

- 1.Найдем количество вещества оксида углерода(IV), фтороводорода, воды:
- ➢ $n(CO_2) = V/Vm = 4,48/22,4 = 0,2$ моль
- ➢ $n(HF) = m/M = 2/20 = 0,1$ моль
- ➢ $n(H_2O) = m/M = 3,6/18 = 0,2$ моль
- 2.Найдем количество вещества элементов:
- ➢ углерода, $n(C) = n(CO_2) = 0,2$ моль;
- ➢ фтора, $n(F) = n(HF) = 0,1$ моль
- ➢ водорода, $n(H) = 2n(H_2O) + n(HF) = 0,2*2 + 0,1 = 0,5$ моль
- 3.Соотношение: $n(C) : n(H) : n(F) = 0,2:0,5:0,1 = 2 : 5 : 1$; простейшая формула C_2H_5F

Шаг №3 Определяем молекулярную формулу

При умножении простейшей формулы на 2, 3 и т.д. получаются «пересыщенные» составы.
Поэтому **молекулярная формула** совпадает с простейшей:
C_2H_5F , фторэтан

Рекомендации: проверять себя: чего больше молекул или атомов?

Пример 2. *Неизвестное органическое соединение X массой 27 г сожгли в избытке кислорода, при этом образовалось 35,84 л (н. у.) углекислого газа и 12,6 г воды. Определите молекулярную формулу вещества X и установите его структуру, если известно, что оно при нагревании реагирует с водным раствором гидроксида натрия, образуя смесь органических соединений в соотношении 1 : 2, а один из продуктов гидролиза образует тёмно-синий раствор под действием гидроксида меди(II). Напишите уравнение реакции X с гидроксидом натрия.*

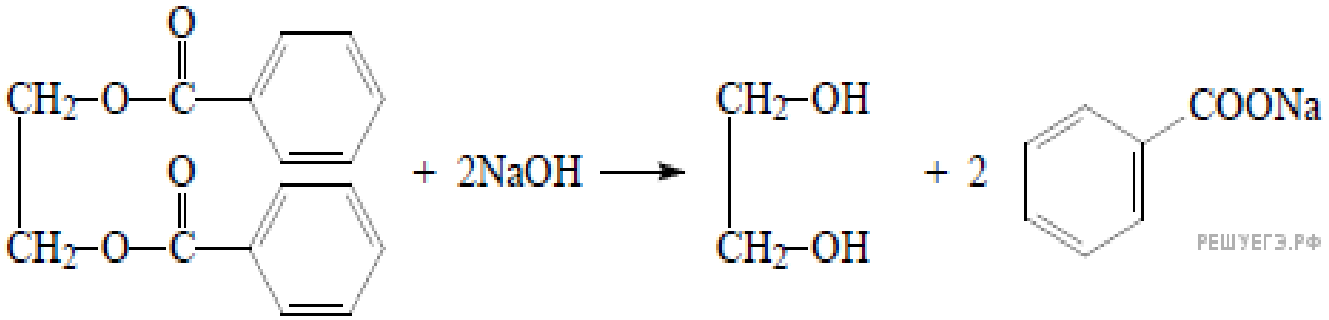
ШАГ №1 Анализируем условие задачи:	Шаг №2 Определяем простейшую формулу вещества
Дано: V (CO_2)= 35,84л m (H_2O)= 12,6 г m (в-ва) = 27 г Найти: CxHyOz	n(CO_2) = V/Vm = 35,84/22,4 = 1,6 моль n(H_2O) = m/M = 12,6/18 = 0,7 моль 2.Найдем количество вещества элементов: n (C) = n (CO_2) = 1,6 моль; n(H) = 2n(H_2O) = 0,7*2 = 1,4 моль $m(O) = 27 - m(C) - m(H) = 27 - 1,6 \cdot 12 - 1,4 \cdot 1 = 6,4$ г; n (O) = m/M = 6,4/16 = 0,4 моль 3. Соотношение: n(C) : n(H) : n(O) = 1,6:1,4:0,4 = 8 : 7 : 2; простейшая формула $C_8H_7O_2$

- Шаг №3 Определяем молекулярную формулу

  Нечётное число атомов водорода невозможно, поэтому простейшую формулу надо умножить на 2. Молекулярная формула вещества — $C_{16}H_{14}O_4$

- Шаг №4 Определяем структурную формулу

  Исходя из того, что соединение X при нагревании реагирует с водным раствором гидроксида натрия, и при этом образуется смесь органических продуктов в соотношении 1:2, это — сложный эфир двухатомного спирта. Это подтверждается реакцией продукта гидролиза с $Cu(OH)_2$. На два остатка кислоты приходится 16 – 2 = 14 атомов углерода и 14 – 4 = 10 атомов водорода, это — остаток бензойной кислоты. Вещество X — дибензоат этиленгликоля:



IV тип. Определение формулы вещества по его реакционной способности

При нагревании 120г предельного одноатомного спирта в присутствии концентрированной серной кислоты было получено 84г алкена. Установите формулу исходного спирта

120г		84г	
$C_nH_{2n+2}O$	→	C_nH_{2n}	$+ H_2O$
14n+2+16		12n+2n	

1. Вычислить молекулярные массы спирта и алкена в общем виде.
2. Найти количества прореагировавших веществ
3. Используя уравнение реакции, составить пропорцию между количествами прореагировавших веществ и найти значение индекса n

$$120 \times 14n = 84(14n+18)$$

$$1680n = 1176n + 1512$$

$$504n = 1512$$

$$n = 3$$

Формула спирта C_3H_7OH

Наиболее характерные причины, по которым выпускники теряют баллы при решении задач №33:

1. Некорректное оформление
2. Решение не математическим путем, а методом подбора
3. Неверное составление общей формулы вещества
4. Ошибки в уравнении реакции с участием вещества, записанного в общем виде.

Решая задачи на определение формулы вещества нужно, как правило, приходить к строению вещества, т.е. приводить его структурную формулу, или формулу одного из возможных изомеров.

Например, выпускники не всегда верно понимают понятия «первичный», «вторичный», «третичный» отнесенные к аминам.

Например:

CH_3-CHOH-CH_3 – вторичный спирт,

но **CH_3-CH(NH_2)-CH_3** – первичный амин.

Формула вторичного амина: **CH_3-CH_2-NH-CH_3** .

Рекомендации: в номенклатуре спиртов эти понятия означают тип атома углерода, в номенклатуре аминов они характеризуют число радикалов у атома азота.

Иногда условия задачи на определение формулы вещества настолько просты, что ученик определяет формулу «в уме».

Например, определив молекулярную массу углеводорода равную 30, можно не использовать данные по продуктам его сгорания. Но необходимо будет записать, что, исходя из общей формулы углеводородов CxHy, в состав молекулы может входить только 2 атома углерода, следовательно, таким углеводородом может быть только этан, C_2H_6

Рекомендации: письменно обосновать свой вывод в решении. Только запись готовой формулы не может быть оценено максимальным баллом.

Задание 33-1

При взаимодействии двух солей, одна из которых содержит органический катион, получено вещество А и бромид серебра. При сгорании 3,12 г вещества А образуется 5,28 г углекислого газа, 1,44 г воды и 448 мл азота (н.у.).

На основании данных условия задачи:

1) проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу исходного органического вещества;

2) составьте возможную структурную формулу исходного вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;

3) напишите уравнение реакции получения вещества А при взаимодействии исходных солей (используйте структурные формулы органических веществ).

$n(CO_2) = 0{,}12$ моль; $n(C) = 0{,}12$ моль $m(C) = 0{,}12 \cdot 12 = 1{,}44$ г

$n(H_2O) = 0{,}08$ моль $n(H) = 0{,}16$ моль $m(H) = 0{,}16$ г

$n(N_2) = 0{,}02$ моль $n(N) = 0{,}04$ моль $m(N) = 0{,}04 \cdot 14 = 0{,}56$ г

$m(C+H+N) = 1{,}44+0{,}16+0{,}56 = 2{,}16$ г

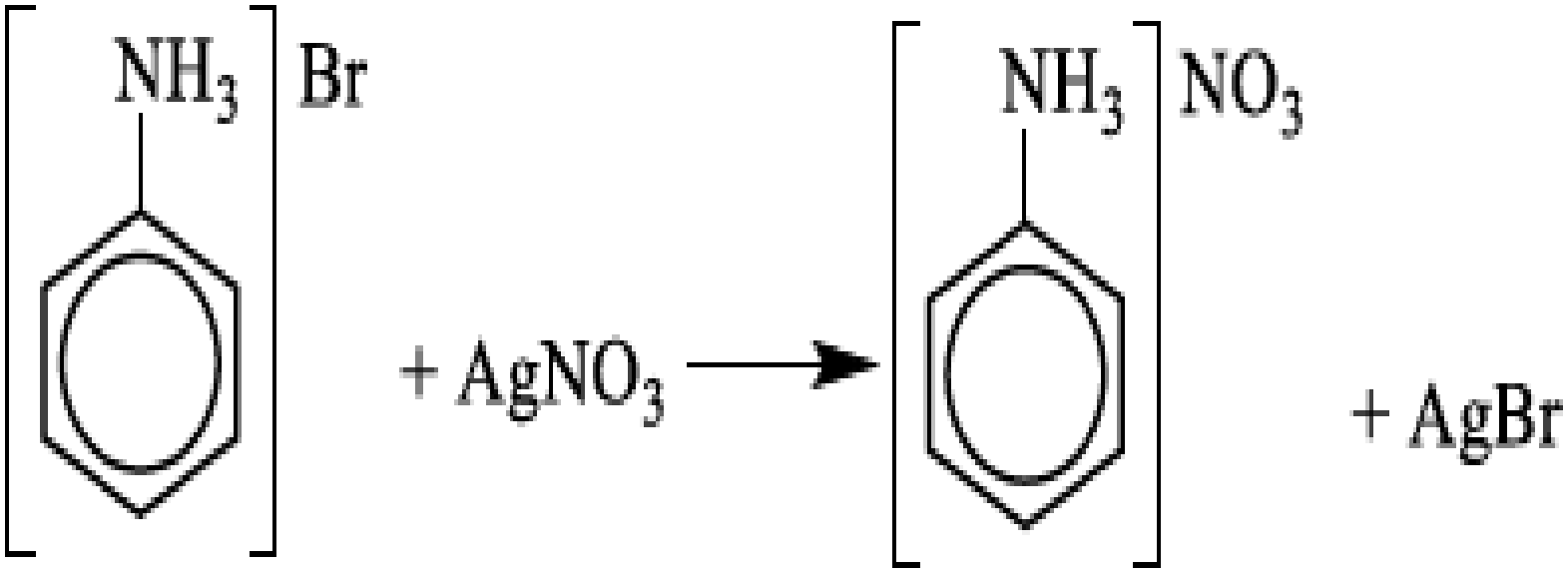
$m(O) = 3{,}12 - 2{,}16 = 0{,}96$ г $n(O) = 0{,}06$ моль

6 : 8 : 3 : 2 $C_6H_8O_3N_2$

Условие: При взаимодействии двух солей, одна из которых содержит органический катион, получено вещество А и бромид серебра.

Растворимая соль серебра – нитрат, значит вещество А содержит органический катион и нитрат (NO_3^- не относится к органическому катиону.

Остается C_6H_8N. Органический катион может образовать амин. Общая формула катиона алифатического амина $C_nH_{2n+3}N$, в нашем случае на 8 атомов водорода меньше – это катион ароматического амина – анилиния. Вещество А – нитрат анилиния.


NH3
Br
+ AgNO3
NH3
NO3
+ AgBr

Задание 33-2

При сгорании 2,78 г органического вещества А получили 6,16 г углекислого газа, 1,62 г воды и 224 мл азота (н.у.). Вещество А образуется при нагревании карбонильного соединения Б с гидроксидом диамминсеребра (I). Известно, что вещество А не содержит атомов углерода в *sp*-гибридизации.

На основании данных условия задачи:

1) проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу исходного органического вещества;

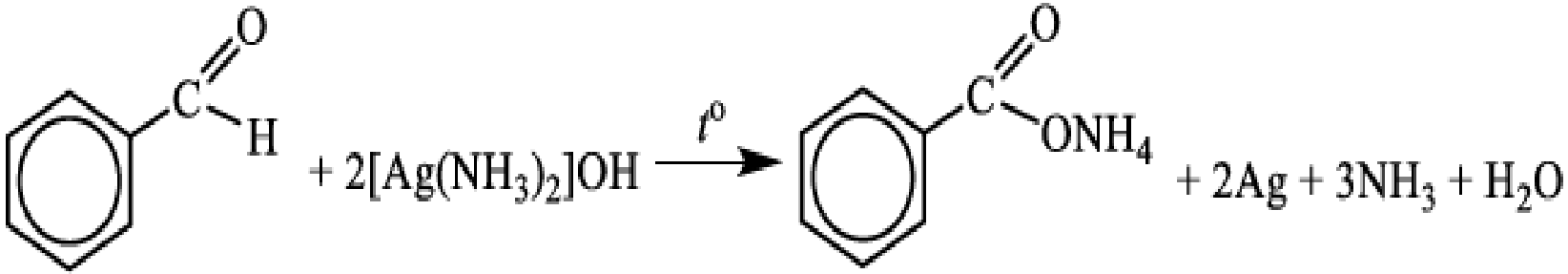
2) составьте возможную структурную формулу исходного вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;

3) напишите уравнение реакции получения вещества А при взаимодействии соединения Б с гидроксидом диамминсеребра(I) (используйте структурные формулы органических веществ).

Молекулярная формула — $C_7H_9O_2N$

Вещество А образуется при нагревании карбонильного соединения Б с гидроксидом диамминсеребра (I). Известно, что вещество А не содержит атомов углерода в *sp*-гибридизации.

Вещество А не содержит тройных связей, т.к. не содержит атомов углерода в *sp*-гибридизации, но образуется при взаимодействии карбонильного соединения с гидроксидом диамминсеребра (I). Значит, вещество Б – альдегид, а вещество А – это соль карбоновой кислоты и катиона аммония, на него приходится NH_4^+, на анион карбоновой кислоты остается $C_7H_5O_2$ – это высокая степень ненасыщенности, соответствует бензоат аниону. Бензол и гомологи (C_nH_{2n-6}), бензойная кислота ($C_nH_{2n-8}O_2$), а её анион ($C_nH_{2n-9}O_2$). При n = 7 получим нашу формулу.



Задание 33-3

Вещество А содержит 45,93% углерода, 2,39% водорода и 51,68% серебра по массе и образуется при взаимодействии углеводорода Б с избытком гидроксида диамминсеребра(I).

На основании данных условия задачи:

1) проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу исходного органического вещества А;

2) составьте возможную структурную формулу вещества Б, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;

3) напишите уравнение реакции гидратации углеводорода Б (используйте структурные формулы органических веществ).

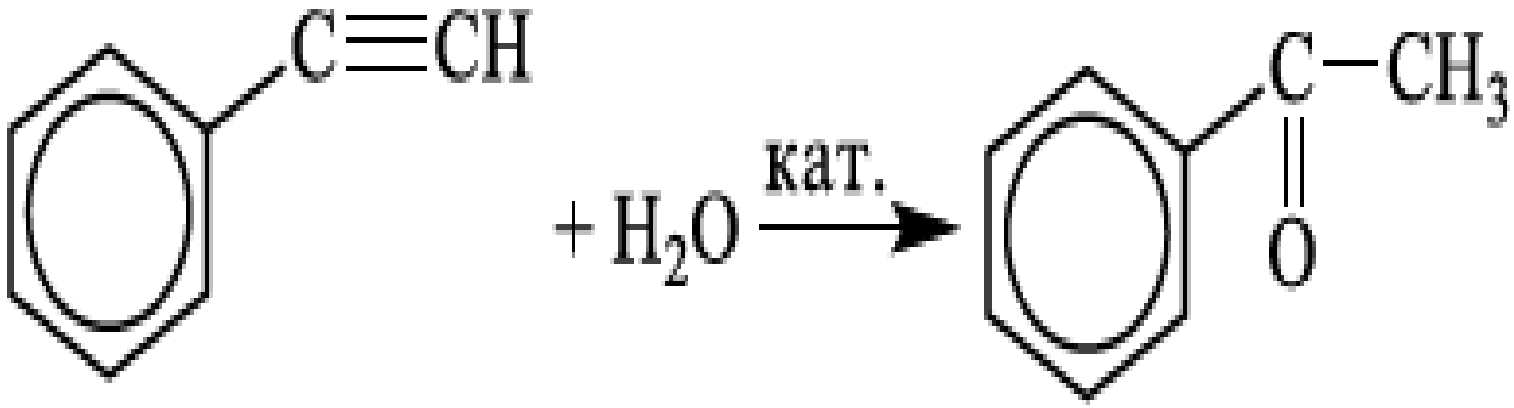
Молекулярная формула — C_8H_5Ag

По степени ненасыщенности – это ароматическое соединение, имеющее заместитель с тройной связью.

Общая формула гомологов бензола C_nH_{2n-6}.

Наличие тройной связи – ещё – 4 атома водорода (C_nH_{2n-10}) и минус ещё один атом водорода, замещенный на серебро ($C_nH_{2n-11}Ag$).

При n = 8 получим нашу формулу.



Задание 35-4

Органическое вещество содержит 62,75% углерода, 7,19% водорода, 20,91% кислорода и 9,15% азота. В составе органического вещества есть только один атом углерода в sp^3-гибридизации. При нагревании исходное вещество реагирует с гидроксидом кальция с образованием органической соли и газа, содержащего один атом углерода.

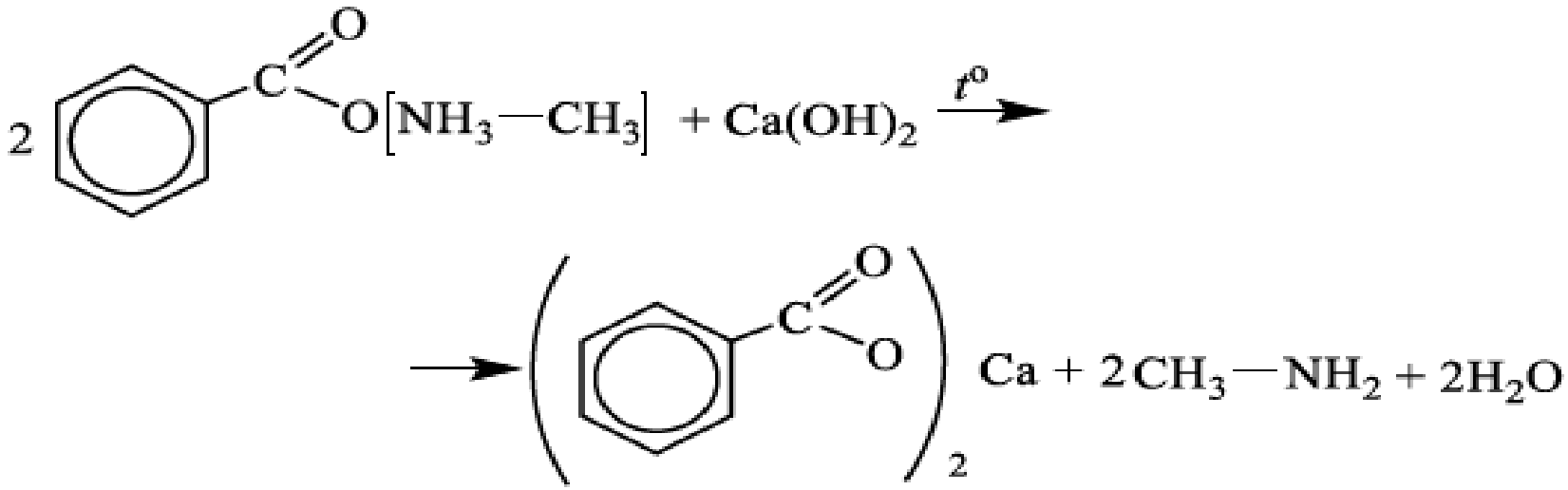
На основании данных условия задания:

- проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу органического вещества А;
- составьте структурную формулу этого вещества, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;
- напишите уравнение реакции исходного органического вещества с гидроксидом кальция (используйте структурные формулы органических веществ).

Молекулярная формула — $C_8H_{11}O_2N$

В составе органического вещества есть только один атом углерода в sp^3-гибридизации. При нагревании исходное вещество реагирует с гидроксидом кальция с образованием органической соли и газа, содержащего один атом углерода.

Мы знаем только одну реакцию, когда щелочь вытесняет газ – аммиак, но здесь в структуре газа присутствует один атом углерода, следовательно это метиламин. Он же содержит атом углерода в sp^3-гибридизации. Вычитаем состав метиламмония (CH_6N), остается ($C_7H_5O_2$) – это состав бензоат аниона.



Задание 35-5

При сгорании 11,6 г органического вещества А получили 8,96 л углекислого газа (н.у.) и 3,6 г воды. Известно, что вещество А образуется при дегидрировании гидроксильного соединения Б в присутствии медного катализатора, а также вступает в реакцию с гидроксидом диамминсеребра (I) в молярном соотношении 1:4.

На основании данных условия задачи:

1) проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу органического вещества А;

2) составьте возможную структурную формулу вещества А, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;

3) напишите уравнение реакции вещества А с избытком гидроксида диамминсеребра (I) (используйте структурные формулы органических веществ).

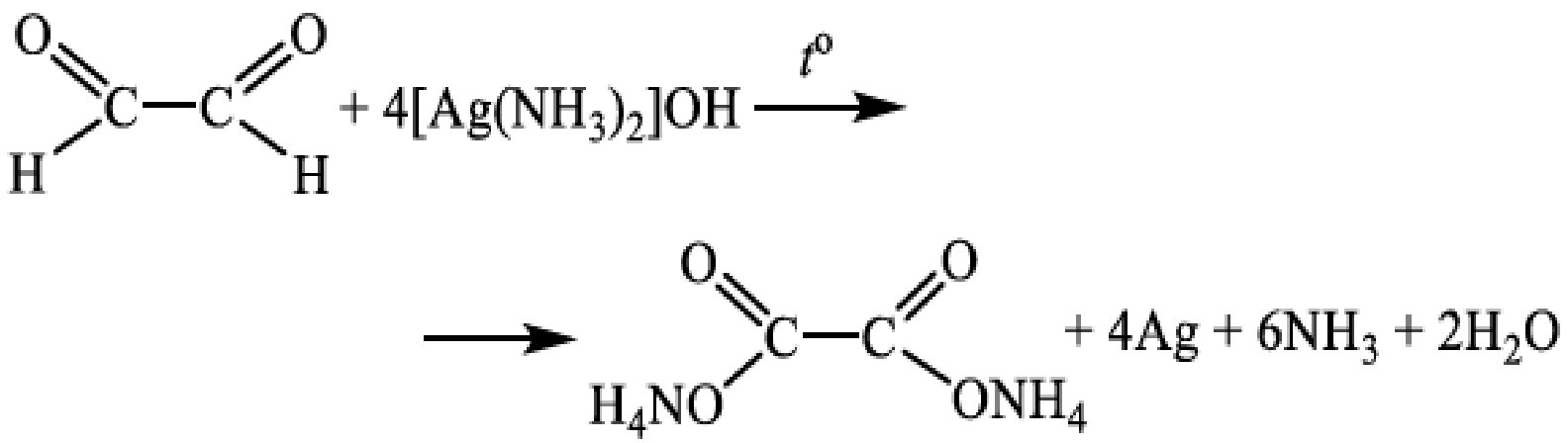
Молекулярная формула — $C_2H_2O_2$

Известно, что вещество А образуется при дегидрировании гидроксильного соединения Б в присутствии медного катализатора, а также вступает в реакцию с гидроксидом диамминсеребра (I) в молярном соотношении 1:4.

При дегидрировании гидроксильного соединения могут образоваться альдегиды или кетоны, в реакцию с аммиачным раствором оксида серебра (I) вступают только альдегиды, 1 альдегидная группа реагирует с 2 моль аммиачного раствора

(см №33-2), значит, данное вещество содержит 2 альдегидные группы.

Пример реакции с аммиачным раствором оксида серебра (I)



Задание 35-6

Органическое вещество X относится к ароматическим соединениям и проявляет слабые основные свойства. Оно реагирует с одним эквивалентом хлороводорода, образуя вещество, содержащее 27,4 % хлора и 10,8 % азота по массе. Вещество X окисляется перманганатом калия, не реагирует с бромной водой и азотистой кислотой.

На основании данных условия задачи:

1) проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу вещества X;

2) составьте возможную структурную формулу вещества X, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;

3) напишите уравнение реакции вещества X с горячим водным раствором перманганата калия (в уравнении используйте структурные формулы органических веществ).

Вариант ответа:

1) Проведены необходимые вычисления, и найдена молекулярная формула вещества X:

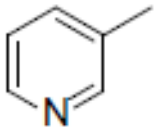
n(Cl) : n(N) = (27,4/35,5) : (10,8/14) = 1 : 1,

M(X·HCl) = 35,5 / 0,274 = 129,5 г/моль,

M(X) = 129,5 – 36,5 = 93 г/моль,

X содержит 1 атом N, молекулярная формула X – C_6H_7N.

2) X не реагирует с бромной водой и азотистой кислотой, следовательно, азот входит в состав ароматического кольца. X – метилпиридин (любой из трёх изомеров). Возможная структурная формула вещества X:



3) Написано уравнение реакции X с перманганатом калия:

$$C_5H_4N–CH_3 + 2KMnO_4 \xrightarrow{t} C_5H_4N–COOK + 2MnO_2 + KOH + H_2O$$

Задание 35-7

Органическое вещество X представляет собой бесцветную жидкость с запахом аммиака. Оно реагирует с двумя эквивалентами бромоводорода, образуя вещество, содержащее 72,1 % брома и 12,6 % азота по массе. Вещество X реагирует с азотистой кислотой, при этом выделяется в 2 раза больше азота, чем при сгорании X.

На основании данных условия задачи:

1) проведите необходимые вычисления (указывайте единицы измерения и обозначения искомых физических величин) и установите молекулярную формулу вещества X;

2) составьте структурную формулу вещества X, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле;

3) напишите уравнение реакции вещества X с избытком гидроксида калия (в уравнении используйте структурные формулы органических веществ).

1) Проведены необходимые вычисления, и найдена молекулярная формула вещества X:

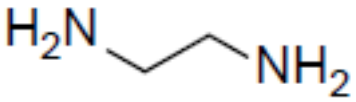
n(Br) : n(N) = (72,1/80) : (12,6/14) = 1 : 1,

M(X·2HBr) = 160 / 0,721 = 222 г/моль,

M(X) = 222 – 2·81 = 60 г/моль,

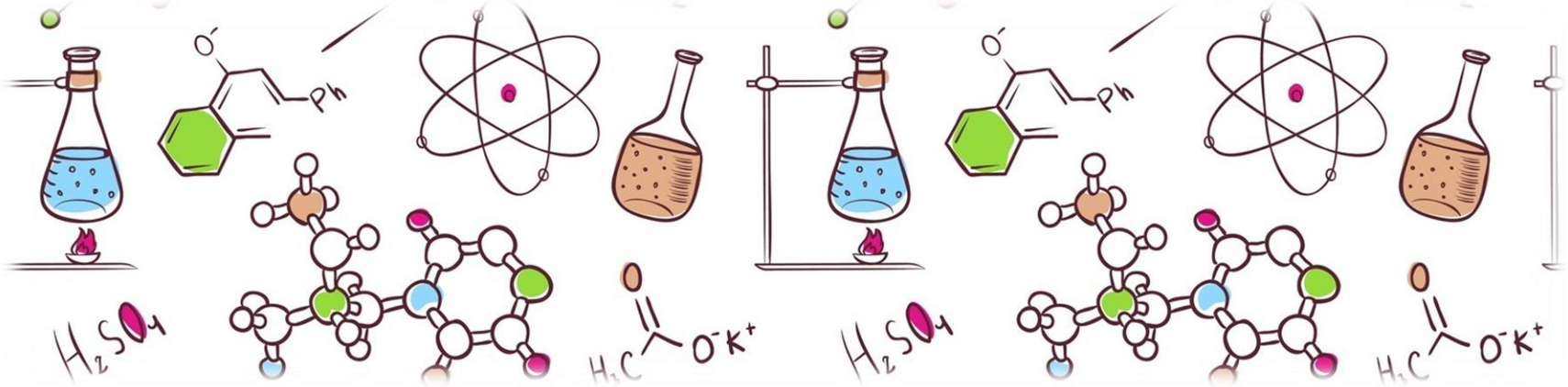
X содержит 2 атома N, молекулярная формула X – $C_2H_8N_2$.

2) При взаимодействии с азотистой кислотой выделяется в 2 раза больше азота, чем при сгорании X, следовательно, X – двухатомный первичный амин. Две группы NH_2 не могут находиться у одного атома C, поэтому X – этилендиамин (1,2-диаминоэтан):



3) Написано уравнение реакции X с азотистой кислотой:

$H_2NCH_2CH_2NH_2 + 2HNO_2 \rightarrow HOCH_2CH_2OH + 2N_2\uparrow + 2H_2O$

Благодарю за внимание!

Успехов!