В системе понятий о веществе центральным является **химическая формула вещества**. Вещество и его графическое изображение – химическая формула – являются *объектом* изучения. Химическую формулу можно рассматривать как *средство* изучения органической химии, ставя перед обучаемыми задачу извлечения максимальной информации из химической формулы и обратную задачу – определение вещества и его химической формулы на основании различной информации. Информация о веществе может быть разной, поэтому существуют разные типы химических формул. В зависимости от полноты информации химические формулы делятся на некоторые типы (схема 1), примеры приведены в таблице 1.

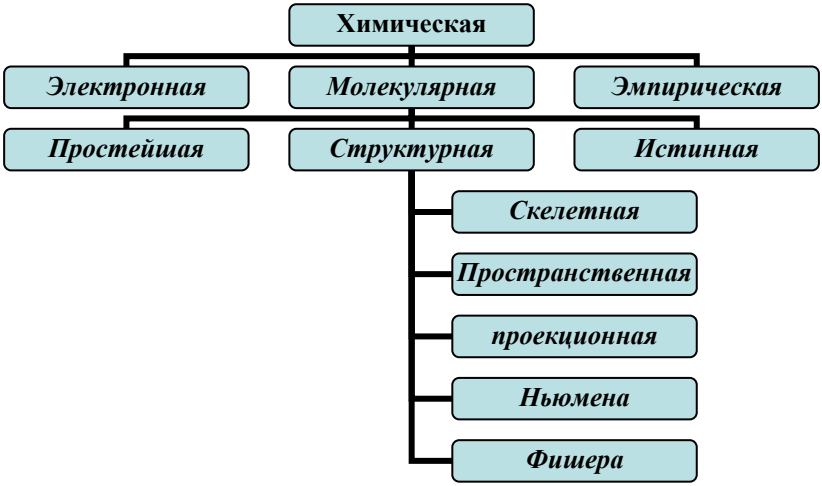
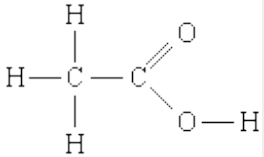
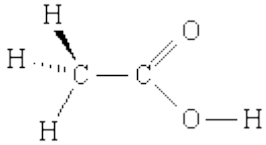
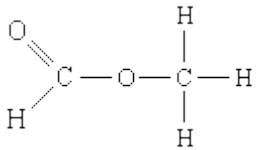
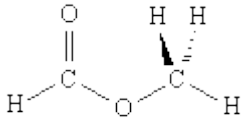

Химическая
Электронная
Молекулярная
Эмпирическая
Простейшая
Структурная
Истинная
Скелетная
Пространственная
проекционная
Ньюмена
Фишера

Таблица 1

Название вещества	*Химические формулы*			
	Простейшая	*Молекулярная*	*Структурная*	*Пространственная*
Уксусная кислота	CH_2O	$C_2H_4O_2$		
Метилформиат	CH_2O	$C_2H_4O_2$		

1. Нахождение молекулярной формулы вещества в газообразном состоянии по его элементному составу

Решая задачи по нахождению молекулярной формулы газообразного вещества, следует использовать формулу расчета массовой доли элемента в веществе:

$$\omega(\text{эл-та}) = \frac{A_r(\text{эл} - \text{та}) \cdot n(\text{эл} - \text{та})}{M_r(\text{в} - \text{ва})} \qquad (1)$$

где n(эл-та) – число атомов элемента в формульной единице вещества (индекс).

Это дает возможность быстро подсчитать число атомов каждого элемента в веществе:

$$n(\text{эл-та}) = \frac{M_r(\text{в} - \text{ва}) \cdot \omega(\text{эл} - \text{та})}{A_r(\text{эл} - \text{та})} \qquad (2)$$

<u>Задача 1.</u> Плотность по водороду вещества, имеющего состав: углерода – 24,24 %, водорода – 4,04 %, хлора – 71,72 %, равна 49,5. Найдите молекулярную формулу вещества.

Дано:	*Решение:*
$\omega(C) = 0{,}2424$ $\omega(H) = 0{,}0404$ $\omega(Cl) = 0{,}7172$ D_{H2}(в-ва) = 49,5	<u>Первый способ</u> Зная элементный состав вещества, составим его формулу $C_xH_yCl_z$, обозначив буквами x, y, z число атомов каждого элемента.
$C_xH_yCl_z$ – ?	

$$M_r(C_xH_yCl_z) = 2\cdot D_{H2}(C_xH_yCl_z);$$

$$M_r(C_xH_yCl_z) = 2\cdot 49{,}5 = 99$$

Для нахождения x, y и z используем формулу (2):

$$n(C) = \frac{99 \cdot 0{,}2424}{12} = 2; \quad x = 2;$$

$$n(H) = \frac{99 \cdot 0{,}0404}{1} = 4; \quad y = 4;$$

$$n(C) = \frac{99 \cdot 0{,}7172}{35{,}5} = 2; \quad z = 2.$$

Молекулярная формула вещества – $C_2H_4Cl_2$.

Использование данного способа (по алгебраической формуле) наиболее рационально и целесообразно в классах естественнонаучного и химического профиля.

<u>Второй способ</u>

В классах гуманитарного профиля можно опираться на умения, сформированные при обучении математике: *для нахождения части от целого необходимо целое умножить на долю части.*

В химии это означает, что по молекулярной (молярной) массе (целое) вещества и массовой доле элемента в веществе (доля части от целого) находят массу элемента в веществе (часть от целого):

$$\omega\ (\text{эл-та}) = M(\text{в-ва})\cdot\omega(\text{эл-та}) \qquad (3)$$

$$M(C_xH_yCl_z) = 2\cdot D_{H2}(C_xH_yCl_z);$$

$$M(C_xH_yCl_z) = 2\cdot 49{,}5 = 99\ (\text{г/моль}).$$

$$m(C) = 99\cdot 0{,}2424 = 24\ (\text{г});$$

$$m(H) = 99\cdot 0{,}0404 = 4\ (\text{г});$$

$$m(Cl) = 99\cdot 0{,}7172 = 71\ (\text{г}).$$

Число атомов элемента в молекуле газообразного вещества определяют как частное от деления массы элемента на его молярную массу.

$$n(C) = \frac{24}{12} = 2;\quad n(H) = \frac{4}{1} = 4;\quad n(Cl) = \frac{71}{35{,}5} = 2,\qquad C_2H_4Cl_2.$$

<u>Ответ:</u> $C_2H_4Cl_2$

Среди задач на нахождение молекулярной формулы вещества есть такие, в которых отсутствуют данные, позволяющие найти относительную молекулярную массу (или молярную массу) вещества; в условии указаны только массовые доли элементов в веществе. Следовательно, в этом случае невозможно определить истинное число атомов в молекуле газа. Используя алгебраическую формулу (2) после тождественного преобразования, находят соотношение атомов элементов (4):

$$n_1 : n_2 = \frac{M_r \cdot \omega_1}{A_{r1}} : \frac{M_r \cdot \omega_2}{A_{r2}} = \frac{\omega_1}{A_{r1}} : \frac{\omega_2}{A_{r2}} \qquad \textbf{(4)}$$

Полученная из расчета по формуле (4) величина, называемая «*атомным фактором*», позволяет определить простейшую формулу вещества. Молекулярную (или истинную) формулу вещества находят, используя различную информацию, включенную в текст задачи.

<u>Задача 2.</u> Выведите формулу органической кислоты, в составе которой 40,68 % углерода, 5,08 % водорода, остальное – кислород, если известно, что она образует со щелочью две соли.

Дано:	*Решение:*
ω(C)=0,4068 ω(H)=0,0508	Используя формулу (2), рассчитывают соотношение числа атомов элементов в молекуле кислоты:
$C_xH_yO_z$ – ?	

$$n(C):n(H):n(O) = \frac{0,4068}{12} : \frac{0,0508}{1} : \frac{0,5424}{16} =$$

$$= 1:1,5:1 = 2:3:2$$

Молекулярную формулу кислоты можно вывести на основании данных, указанных в конце текста задачи. Если кислота образует две соли (кислую и среднюю), то эта кислота является двухосновной и содержит две

карбоксильные группы; следовательно, четыре атома кислорода входят в состав ее молекулы.

Следовательно, n(C) : n(H) : n(O) = 4:6:4; $C_4H_6O_4$

В условии не спрашивается структурная формула вещества, поэтому не следует предлагать структуры веществ.

Ответ: $C_4H_6O_4$

2. Нахождение молекулярной формулы вещества по массе или объему продуктов его сгорания

В основу обучения решению задач указанного вида положено умение учащихся переходить от массы данного вещества к его количеству (моль), что, в свою очередь, дает возможность определить число атомов элемента в молекуле неизвестного вещества.

Наиболее рациональным является следующий **алгоритм** нахождения формулы.

Алгоритм «Вывод формулы органического вещества по продуктам его сгорания»

- Зная элементный состав продуктов сгорания, составьте предполагаемую формулу искомого вещества (например, $C_xH_yO_z$).
- Пользуясь данными условия задачи, найдите молярную массу искомого вещества, используя алгебраические формулы (при н.у.)

$$M(X) = M(Y) \cdot D_Y(X) \qquad (5)$$

$$M(X) = V_m \cdot \rho(X) \qquad (6)$$

или уравнение Менделеева-Клапейрона, если условия (температура и давление) отличаются от нормальных:

$$M = \frac{mRT}{pV} \qquad (7)$$

$$M = \frac{\rho RT}{p} \qquad (8)$$

- Найдите количества искомого вещества и продуктов сгорания и соответствующие им количества атомов, входящих в состав искомого вещества. При этом ***следует помнить***:

  – ***если в состав органического вещества входят***

атомы металлов, то образуются, как правило, соли угольной кислоты (карбонаты или гидрокарбонаты);

– азотсодержащие органические вещества сгорают с образованием свободного азота N_2.

$$n(C) = n(CO_2);$$

$$n(N) = 2n(N_2);$$

$$n(H) = 2n(H_2O);$$

$$n(S) = n(SO_2).$$

- Найдите целочисленное соотношение полученных количеств (моль) органического вещества и атомов, входящих в его состав:

$$n(C_xH_yO_z) : n(C) : n(H) =$$

и составьте формулу искомого вещества, заменив буквы *x*, *y* найденными цифрами.

- Выразите молярную массу выведенной формулы искомого вещества и сравните с найденной молярной массой. Произведите расчет числа атомов кислорода *(z)*, входящих в состав вещества.

<u>Задача 3.</u> При сжигании углеводорода массой 0,28 г получили оксид углерода(IV) объемом 448 мл (н.у.) и воду массой 0,36 г. Масса 1 литра углеводорода равна 2,50 г. Определите молекулярную формулу углеводорода.

Дано:	*Решение:*
$m(C_xH_y) = 0,28$ г	<u>Первый способ</u> *(переход от масс веществ к их количеству)*
$V(CO_2) = 0,448$ л	$M(C_xH_y) = V_m \cdot \rho(C_xH_y)$,
$m(H_2O) = 0,36$ г	$M(C_xH_y) = 22,4 \cdot 2,5 = 56$ (г/моль),
$\rho(C_xH_y) = 2,5$ г/л	
C_xH_y – ?	

$$\nu(C_xH_y) = \frac{0,28г}{56г/моль} = 0,005 \text{ моль},$$

$$\nu(CO_2) = \frac{0,448л}{22,4л/моль} = 0,02 \text{ моль}; \quad \nu(C) = 0,02 \text{ моль};$$

$$\nu(H_2O) = \frac{0,36г}{18г/моль} = 0,02 \text{ моль}; \quad \nu(H) = 0,04 \text{ моль}.$$

$$\nu(C_xH_y) : \nu(C) : \nu(H) = 0,005 : 0,02 : 0,04 = 1 : 4 : 8,$$

что означает: *1 моль углеводорода C_xH_y содержит 4 моль углерода и 8 моль водорода, т.е. x=4, y=8.*

Формула углеводорода: C_4H_8.

<u>Второй способ</u> *(способ пропорции)*

Молярная масса углеводорода равна 56 г/моль, что означает –

масса одного моль вещества равна 56 г. При сгорании 0,28 г углеводорода выделяется 0,448 л CO_2 и 0,36 г H_2O, а при сгорании 56 г углеводорода выделится V л CO_2 и m г H_2O. Составляют две пропорции и вычисляют неизвестные величины:

$$\frac{0,28}{56} = \frac{0,448}{V(CO_2)}; \qquad V(CO_2) = \frac{56 \cdot 0,448}{0,28} = 89,6 \text{ (л)}.$$

$$\frac{0,28}{56} = \frac{0,36}{m(H_2O)}; \qquad m(H_2O) = \frac{56 \cdot 0,36}{0,28} = 72 \text{ (г)}.$$

$$\nu(CO_2) = \frac{89,6л}{22,4л / моль} = 4 \text{ моль}; \quad \nu(C) = 4 \text{ моль};$$

$$\nu(H_2O) = \frac{72г}{18г / моль} = 4 \text{ моль}; \quad \nu(H) = 8 \text{ моль}.$$

Формула углеводорода: C_4H_8.

<u>Третий способ</u> *(использование алгебраических формул)*

Этот способ эффективен в физико-математических классах. Задачу можно решать в общем виде, аналогично тому, как решают задачи по физике. Вначале производят действия с алгебраическими формулами, преобразуя их в одну формулу, которая позволит рассчитать конечный результат, минуя промежуточные вычисления. Для этого нужно подставить данные задачи в общую формулу и произвести расчет.

При выводе общей формулы используют формулу (1), а массовую долю элемента нужно вычислять по формуле (9):

$$\omega(\text{эл-та}) = \frac{m(\text{эл} - \text{т а})}{m(\text{в} - \text{ва})} \qquad \textbf{(9)}$$

Для этого надо знать массу элемента в продукте сгорания вещества:

$$m(\text{эл-та}) = \frac{m \cdot n \cdot A_r}{M_r} \qquad \textbf{(10)}$$

где:

m – масса продукта сгорания, в состав которого входит искомый элемент ;

M_r – относительная молекулярная масса продукта сгорания;

n – число атомов искомого элемента в формуле продукта сгорания;

A_r – относительная атомная масса искомого элемента.

Подставив выражение (10) в формулу (9), получают:

$$\omega(\text{эл-та}) = \frac{m \cdot n \cdot A_r(\text{эл} - \text{т а})}{M_r \cdot \text{т}(\text{в} - \text{ва})} \qquad \textbf{(11)}$$

Выражение массовой доли элемента в неизвестном веществе вводят в формулу (1) и получают:

$$n(\text{эл-та}) = \frac{m \cdot n \cdot A_r(\text{эл} - \text{т а}) \cdot M_r(\text{в} - \text{ва})}{M_r \cdot \text{т}(\text{в} - \text{ва}) \cdot A_r(\text{эл} - \text{т а})}$$

или

$$n(\text{эл-та}) = \frac{m \cdot n \cdot M_r(\text{в – ва})}{M_r \cdot m(\text{в – ва})} \qquad \textbf{(12)}$$

Если продуктом сгорания является газ и указан его объем, то в формуле (12) массу продукта реакции заменяют на объем, а его относительную молекулярную массу – на молярный объем:

$$n(\text{эл-та}) = \frac{V(\text{газа}) \cdot n \cdot M_r(\text{в – ва})}{V_m \cdot m(\text{в – ва})} \qquad \textbf{(13)}$$

Подставим в формулы (12), (13) известные величины условия задачи и получим:

$$n(H) = \frac{m(H_2O) \cdot 2 \cdot M_r(C_xH_y)}{M_r(H_2O) \cdot m(C_xH_y)}; \quad n(H) = \frac{0{,}36 \cdot 2 \cdot 56}{18 \cdot 0{,}28} = 8;$$

$$n(C) = \frac{V(CO_2) \cdot 1 \cdot M_r(C_xH_y)}{V_m \cdot m(C_xH_y)}; \quad n(C) = \frac{0{,}448 \cdot 1 \cdot 56}{22{,}4 \cdot 0{,}28} = 4.$$

<u>Четвертый способ</u> *(использование неравенств).*

Оригинальный математический способ неравенств позволяет учителю проверить логику анализа условия задачи учащимися. Данную задачу решают, используя знание общей формулы предельных углеводородов.

Обозначим искомую формулу: C_xH_y. Тогда получим:

$$M(C_xH_y) = (12x + y) \text{ г/моль.}$$

Из данных условия задачи находим, что

$$M(C_xH_y) = V_m \cdot \rho(C_xH_y)\,,\ M(C_xH_y) = 56 \text{ г/моль,}$$

$$\text{т.е. } 12x + y = 56.$$

Для углеводородов значение *y* будет равно или меньше (в случае непредельных углеводородов) значения (2x+2) (общая формула предельных углеводородов C_xH_{2x+2}), следовательно: $y \le 2x+2$.

Получим систему двух уравнений:

$$\begin{cases} 12x+y=56, \\ y \le 2x+2; \end{cases} \quad \begin{cases} y=56-12x, \\ 56-12x \le 2x+2; \end{cases} \quad x \ge 3{,}86.$$

x принимает только целые числа.

Если x = 4, то $y = 56-12\cdot4 = 8$.

Если x = 5, то $y = 56-12\cdot5 = -4$, что не соответствует условию.

Следовательно, искомая формула – C_4H_8.

Ответ: C_4H_8

Задачи, в которых требуется вывести формулу газообразного вещества по объему газов, вступивших в реакцию, и полученных газообразных продуктов, удобнее всего решать, используя закономерность объемных отношений газов при химических реакциях: **объемы**

реагирующих и получающихся газов пропорциональны количествам этих веществ, т. е. коэффициентам перед их формулами в уравнении реакции.

<u>Задача 4.</u> Пары органического вещества, не содержащего азот, серу и фосфор, объемом 200 мл подожгли с кислородом объемом 900 мл, который взят в избытке. Объем газов после окончания реакции составил 1,3 л, после конденсации паров воды – 700 мл, после пропускания через раствор щелочи – 100 мл. Объемы всех газов измерены при н.у. Определите формулу вещества.

Дано:	*Решение:*
V(в-ва) = 200 мл $V(O_2)$ = 900 мл V_1(см.) = 1,3 л V_2(см.) = 700 мл V_3(см.) = 100 мл	Если продуктами сгорания органического вещества являются вода и CO_2, то предполагаемая формула вещества – $C_xH_yO_z$. $V(H_2O) = V_1(см.) – V_2(см.)$ $V(H_2O)$ = 600 мл
$C_xH_yO_z$ – ?	

$$V(CO_2) = V_2(см.) – V_3(см.)$$

$$V(CO_2) = 600 мл$$

Осталось не поглощенным раствором щелочи 100 мл O_2; следовательно, на реакцию горения пошло 900–100 = 800 мл

кислорода.

Найдем соотношение объемов реагентов и продуктов, которое будет соответствовать коэффициентам в уравнении реакции.

$V(C_xH_yO_z):V(O_2):V(CO_2):V(H_2O) = 200:800:600:600 = 1:4:3:3.$

Составим уравнение реакции горения вещества:

$$C_xH_yO_z + 4O_2 \rightarrow 3CO_2 + 3H_2O$$

Исходя равенства атомов каждого элемента в левой и правой частях уравнения, получим: x=3, y=6, z=1. C_3H_6O.

Ответ: C_3H_6O

3. Задачи на установление формулы вещества по общей формуле класса

При изучении углеводородов следует помнить, что π-связь уменьшает число атомов водорода на два в общей формуле алканов (*таблица 2)*.

Класс	*Строение*	*Общая формула*
Алканы	C-C	C_nH_{2n+2}
Алкены	C=C	C_nH_{2n}
Алкины	C≡C	C_nH_{2n-2}
Арены		C_nH_{2n-6}

При изучении многофункциональных органических веществ мы предлагаем *таблицу 3* для вывода общей формулы органического вещества по его описанию.

Таблица 3

Вывод общей формулы органического вещества

Функциональная группа	*Число добавляемых или вычитаемых атомов*	*Общая формула класса*
Гидрокси (-OH) Простая эфирная (-O-)	+O	$C_nH_{2n+2}O$
Карбонильная (-C=O)	-2H +O	$C_nH_{2n}O$
Карбоксильная или сложноэфирная -C=O или –C=O | | OH O-C	-2H +2O	$C_nH_{2n}O_2$
Аминогруппа ($-NH_2$)	+H +N	$C_nH_{2n+3}N$
	-8H	C_nH_{2n-6}

Примечания:

1). Для составления формулы ***ближайшего гомолога*** следует добавить гомологическую разность ***–CH₂–***. Например, C_nH_{2n-6}, $C_{n+1}H_{2n-4}$

2). Для составления формулы ***гомолога*** следует заменить индекс ***n*** на ***m***. Например, C_nH_{2n-6}, C_mH_{2m-6}

Если в задаче не сказано, о каком органическом веществе идет речь, то можно воспользоваться следующим *алгоритмом:*

- **Анализируя условие задачи, определите, к какому классу соединений принадлежит данное вещество.**
- **Запишите формулу класса в общем виде.**
- **Найдите молярную массу искомого вещества.**
- **По общей формуле определите, сколько атомов каждого элемента входит в молекулу органического вещества.**
- **Напишите структурные формулы возможных изомеров определяемого вещества и выберите структуру, которая соответствует условию задачи.**

<u>Задача 5.</u> Составьте уравнение реакции гидрирования триглицерида, образованного непредельными кислотами с двумя и тремя двойными связями, если общее число двойных связей равно 8.

Решение:

По описанию устанавливаем, что в составе вещества три сложных эфирных групп, 8 π-связей, следовательно:

3 –C=O | O—C	—6H +6O	$C_nH_{2n+2-22}O_6$
8 C=C	—16H	

Уравнение реакции имеет вид:

$$C_nH_{2n-20}O_6 + 8H_2 \rightarrow C_nH_{2n-4}O_6$$

Подобные упражнения были разработаны нами к различным темам по изучению классов органических соединений. Приводим несколько примеров.

<u>Задача 6.</u> Дихлоралкан, в котором атомы хлора находятся у соседних атомов углерода, обработали избытком спиртового раствора щелочи. Масса выделившегося газа оказалась в 2,825 раза меньше массы исходного дихлоралкана. Установите строение исходного соединения и продукта реакции.

Дано:	*Решение:*
m(исх. в-ва) = 2,825m(газа)	Дихлоралкан в общем виде запишем как $C_nH_{2n}Cl_2$.
исх. в-во – ?	
газ – ?	

При действии на него спиртовым раствором щелочи получают алкин C_nH_{2n-2}, что можно представить в виде уравнения:

$$\underset{1\ моль}{\overset{a\ моль}{C_nH_{2n}Cl_2}} + 2KOH \xrightarrow[(спирт)]{t} \underset{1\ моль}{\overset{a\ моль}{C_nH_{2n-2}}} + 2KCl + 2H_2O$$

Если для реакции брали *а моль* дихлоралкана, то получили *а моль* алкина.

$$M(C_nH_{2n}Cl_2)=12\cdot n+1\cdot 2n+35{,}5\cdot 2=(14n+71)\ г/моль,$$

$$M(C_nH_{2n-2})=12\cdot n+1(2n-2)=(14n-2)\ г/моль$$

По условию задачи: $m(C_nH_{2n}Cl_2) = 2{,}825m(C_nH_{2n-2})$.

Подставив соответствующие значения в данное выражение, получим:

$$(14n+71)\cdot a = 2{,}825\cdot(14n-2)a;$$

$$14n+71 = 39{,}55n-5{,}65;$$

$$25{,}55n = 76{,}65;$$

$$n = 3,\ C_3H_6Cl_2$$

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru