

Предмет органической химии. Определение состава органических веществ

Как вам уже известно, химия – это часть науки о природе – **естествознания**. Однако люди и саму химию разделили на несколько разных областей знания. Так, изучая свойства металлов, неметаллов, их соединений, вы занимались **неорганической химией**. Когда речь идет об общих закономерностях протекания химических реакций – их скоростях, механизмах, энергетических характеристиках, вы попадали в область науки, которая называется **физическая химия**. Если же возникает необходимость узнать, какие элементы и в каком соотношении входят в состав того или иного вещества – проанализировать его, то тут нам на помощь приходит **аналитическая химия**.

В дальнейшем вам предстоит познакомиться с **органической химией** – наукой, изучающей свойства соединений углерода. Вы, наверное, удивитесь: а почему именно углероду уделяется такое внимание? Почему нет специальной науки, изучающей свойства железа или, скажем, хлора? И почему, в конце концов, мы должны тратить на изучение соединений одного элемента целый год?

Чтобы ответить на эти вопросы, давайте представим, как выглядел бы наш мир, если бы в нем вдруг исчез углерод. Оглянитесь вокруг: из комнаты исчезли все деревянные предметы, нет вашей пластмассовой ручки, сумки, в которой вы носите книги, да и самих книг и тетрадок тоже нет. В классе исчезла побелка с потолка, линолеум с пола, мел с доски, как, впрочем, и сама доска. На улице тишина, ведь без бензина не могут ездить машины, от которых остались лишь металлические части: резина и все пластмассовые детали тоже содержат углерод. В аптеках нет лекарств, а нам нечего есть, потому что вся наша пища тоже исчезнет без углерода, и нечего надеть на себя, ведь углерод содержат и хлопчатобумажные, и шерстяные, и синтетические волокна. А впрочем, в этом страшном, придуманном нами мире и от нас-то останется лишь кучка костей да соленая вода: живые организмы построены из соединений углерода.

Итак, вы, видимо, убедились, что большинство окружающих нас соединений содержат углерод. Действительно, сейчас известно более 20 миллионов таких веществ, больше, чем соединений всех остальных элементов, вместе взятых. И число это каждый год увеличивается на 250 000, благодаря тому, что ученые выделяют неизвестные вещества из природных объектов, и создают новые, не существующие в природе соединения.

Конечно, в состав этих соединений, помимо углерода, входят и другие элементы. Это – водород, кислород и азот, реже галогены, сера и фосфор. Соединения углерода с другими элементами называются **органическими соединениями**, а наука, изучающая строение и свойства этих веществ – это **органическая химия**. Существуют также вещества, в которых углерод связан с металлами, их называют **металлоорганическими соединениями**.

Конечно, необходимо понимать, что природа едина, и всякая придуманная человеком классификация условна. Четкой границы между органическими и неорганическими веществами не существует, и, несомненно, все они подчиняются одним и тем же законам природы. Так исторически сложилось, что не все соединения углерода относятся к органическим веществам. Свойства графита и алмаза, оксидов углерода и карбонатов вы изучали в прошлом году в курсе неорганической химии, и их принято относить к неорганическим соединениям. Поэтому чаще употребляют другое определение: *органические вещества – это углеводороды и их производные*.

Углеводороды – это соединения, состоящие из углерода и водорода. Вы знаете простейший углеводород – метан (CH_4). Производные можно представить, как углеводороды, у которых часть атомов водорода (или все атомы водорода) заменена на какой-либо атом или группу атомов. Так, хлороформ – CHCl_3 – это метан, у которого вместо трех атомов водорода – атомы хлора. Примером производного углеводорода, в составе которого нет атомов водорода, может служить тетрахлорметан – CCl_4 .

И все же, почему именно соединений углерода так много, почему именно этот элемент является основой жизни? Сейчас мы знаем, что особенностью атомов углерода является способность к образованию **прочных ковалентных связей** друг с другом и с атомами других элементов. Следовательно, большинство соединений углерода имеет **молекулярное строение**. Атомы углерода, соединяясь друг с другом, могут образовывать цепочки практически любой длины. Молекулы некоторых органических соединений могут включать в себя десятки тысяч атомов углерода.

Но двести лет назад ученые еще не знали ни об углеродных цепочках, ни о ковалентных связях, ни даже об атомах углерода. Чтобы разобраться в строении органических веществ, давайте проследим, как развивались представления о них у химиков XIX века.

К началу XIX века химики изучили свойства очень многих веществ, выделенных из живой материи (растений и животных). Оказалось, что по своим свойствам они отличаются от большинства веществ минерального происхождения. На воздухе эти вещества горят, как, например, древесина и растительное масло, а если их нагревать без доступа воздуха – разлагаются, образуя «дым» и «гарь». Шведский химик Йенс Берцелиус в 1808 году предложил такие соединения называть органическими веществами, в отличие от остальных – неорганических веществ. Он впервые разделил единую химическую науку на несколько областей знания и ввел для одной из них название «органическая химия». Предметом этой науки по Берцелиусу было изучение химических процессов, происходящих в живых организмах и свойств веществ, содержащихся в них. Надо сказать, что сейчас это является предметом другой химической науки – **биохимии**.

У органических и неорганических соединений, с точки зрения ученых начала XIX века, было еще одно принципиальное различие. К тому времени химики умели получать искусственным путем, то есть *синтезировать*, только неорганические соединения, а органические они лишь *выделяли* из природных

объектов. И многие рассуждали примерно так: если я не могу синтезировать эти вещества, то значит это не под силу и любому другому человеку. Они считали, что вещества в живой природе подчиняются специальным законам, отличающимся от тех, что действуют в природе безжизненной, а организм строит свои соединения с участием особой «жизненной силы». Поэтому органические вещества, в отличие от неорганических, находят только в живых тканях, и их невозможно синтезировать вне организма методами, доступными химикам. Это учение называлось «витализмом» (по латыни жизненная сила – *vis vitalis*), и Берцелиус долгое время был его активным сторонником.

Но в 1828 году ученик Берцелиуса Фридрих Велер впервые получил органическое вещество – мочевину из неорганического. А через 17 лет ученик Велера Адольф Кольбе сумел с помощью нескольких химических превращений синтезировать другое хорошо известное органическое соединение – уксусную кислоту из простых веществ: кислорода, водорода и угля. Этим было доказано, что органические вещества из неорганических можно получить без участия жизненной силы, и уже в 50 годы XIX века химики синтезировали несколько десятков соединений, близких по свойствам к природным. Такие вещества тоже стали называть органическими. Таким образом, становилось очевидным, что разница между органическими и неорганическими веществами заключается не в их минеральном или растительном происхождении, а в их составе. Поэтому, параллельно с методами **синтеза и выделения** веществ развивались и методы их **анализа**, то есть **определения состава химических соединений**.

Основы элементного анализа органических соединений разработал великий французский химик А. Лавуазье еще в 80 годах XVIII столетия. Он установил, что вещества растительного и животного происхождения обязательно содержат в своем составе углерод, водород и кислород, а иногда в их состав входят также азот и фосфор. Для анализа Лавуазье использовал наиболее общее для всех органических веществ свойство: все они обладают *способностью гореть на воздухе*. Горит древесина, спирт, растительное масло, можно заставить гореть сахар. Вы очень легко можете сами доказать, что в состав этих веществ входит углерод. Если подержать над пламенем газовой горелки, спиртовки или свечи холодное стекло, то Вы увидите, как оно закоптится. На стекле останутся мелкие частицы угля – сажа.

Что образуется при горении органических веществ? Если проводить реакцию в избытке воздуха или кислорода, то получаются углекислый газ CO_2 и вода. Если же в состав вещества входят еще и другие элементы, то в составе продуктов реакции будет еще и газ азот N_2 , если вещество содержало азот, HCl – в случае хлора, SO_2 – серы и т. д. Собрать продукты реакции и измерив их количества, можно определить, в каких соотношениях элементы входят в состав исходного вещества.

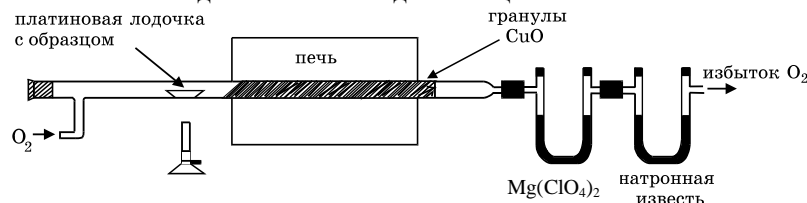


Рис. 1. Схематическое изображение установки для сжигания, используемой при определении углерода и водорода.

Этот метод анализа органических соединений, разработанный впервые Лавуазье и усовершенствованный в 30-х годах прошлого века Ю. Либихом и Ж. Дюма, используется по сей день. Вещество сжигают в токе кислорода. Продукты сгорания последовательно пропускают через склянки с веществами, поглощающими из газовой смеси пары воды и углекислый газ (рис. 1). Эти склянки взвешивают до и после проведения опыта, разность масс как раз и составляет массу поглощенного вещества. Для точного анализа очень важно, чтобы вещество окислилось полностью, то есть, чтобы не образовалось продуктов неполного сгорания: оксида углерода(II) CO и угля. Поэтому для сжигания всегда используют избыток кислорода, а в некоторых случаях анализируемое вещество смешивают с окислителем.

А как, зная массы исходного вещества и конечных продуктов. Определить, в каких соотношениях элементы входят в состав исходного вещества? Давайте попробуем разобраться на конкретном примере.

Задача. При сжигании в избытке кислорода 0,62 г этиленгликоля – вещества, которое используется в качестве антифриза в радиаторах машин – получено 0,88 г углекислого газа и 0,54 г воды. Определите состав этого вещества, если известно, что плотность его паров по воздуху составляет 2,14 г/л. Напишите уравнение горения этиленгликоля.

Решение. Так как продуктами реакции являются только углекислый газ и вода, можно сделать вывод, что исходное вещество содержало углерод, водород и, возможно, кислород. Других элементов в составе этиленгликоля быть не может.

Пусть в состав этиленгликоля входит x атомов углерода, y – водорода и z – кислорода. То есть формула его выглядит так: $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$. При сгорании из 1 моль этого вещества образуется x моль CO_2 и $y/2$ моль H_2O . Сжигая навеску 0,62 г этиленгликоля мы получили:

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{0,88 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль } \text{CO}_2 \text{ и}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{0,54 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль } \text{H}_2\text{O}.$$

Следовательно, в исходной навеске этиленгликоля содержалось 0,02 моль атомов углерода и $0,03 \cdot 2 = 0,06$ моль атомов водорода.

Для того чтобы выяснить, входит ли в состав вещества кислород, узнаем массы углерода и водорода, содержащихся в 0,54 г этого вещества:

$$m_{\text{C}} = 0,02 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 0,24 \text{ г},$$

$$m_{\text{H}} = 0,06 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль} = 0,06 \text{ г}.$$

Сумма масс водорода и углерода $0,24 \text{ г} + 0,06 \text{ г} = 0,30 \text{ г}$ меньше исходной массы нашего соединения. Следовательно, все остальное приходится на кислород:

$$m_{\text{O}} = 0,62 \text{ г} - 0,30 \text{ г} = 0,32 \text{ г},$$

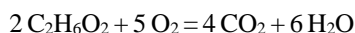
$$n_{\text{O}} = \frac{0,32 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль}.$$

Итак, соотношение между количеством углерода, водорода и кислорода в исходном соединении: $\text{C} : \text{H} : \text{O} = 0,02 : 0,06 : 0,02$ или $1 : 3 : 1$.

Мы можем записать формулу, отражающую *соотношение* атомов в молекуле: CH_3O . Необходимо подчеркнуть, что определенная нами формула не показывает, *сколько* атомов содержится в молекуле. Такая формула, отражающая соотношение атомов в молекуле, называется **простейшей** или **брутто-формулой**.

Для того чтобы узнать состав молекулы, необходимо знать ее молярную массу. Пусть дано, что $M_{\text{X}} = 62 \text{ г/моль}$. Масса 1 моль фрагмента составляет 31 г, то есть в два раза меньше молярной массы нашего вещества. Следовательно, **молекулярная формула**, то есть формула, отражающая состав данного вещества, – $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$.

Уравнение горения этиленгликоля:



Молярную массу газов экспериментально можно определить на основании закона Авогадро: в равных объемах газов при одинаковых условиях находится одинаковое число молекул. Поэтому, взвесив при одних и тех же условиях (температуре и давлении) банку, наполненную неизвестным газом и ту же банку, например, с водородом и посчитав, во сколько раз газ в банке тяжелее водорода, мы узнаем, во сколько раз один моль газа тяжелее одного моль водорода. Таким образом, мы определим *плотность* данного газа по водороду (D_{H_2}), а, зная молярную массу водорода, можно рассчитать молярную массу газа: $M_{\text{газа}} = D_{\text{H}_2} \cdot 2$. Часто бывает удобнее определять плотность газа не по водороду, а по воздуху, средняя молярная масса которого равна 29 г/моль .

Следует отметить, что с помощью этого метода можно измерять молярные массы и тех соединений, которые не являются газами при нормальных условиях, если только эти вещества способны при нагревании переходить в газообразное состояние. Плотность паров этих веществ измеряется при повышенной температуре. Для определения молярной массы веществ, которые не могут существовать в газообразном состоянии (таким соединением, например, является сахар), применяются методы, основанные на изучении некоторых свойств их растворов. А в последние несколько десятилетий ученые для определения молярных масс веществ используют физический метод – масс-спектрометрию.