

Е.А.Менделеева, Н.И.Морозова

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Часть 1
Теория строения органических веществ

Школа имени А.Н.Колмогорова

Издательство Московского университета

1999

УДК 547
ББК 24.2
М 50

Рецензент
канд. хим. наук *Вацадзе С. З.*

Корректор-редактор
Кожевникова А. В.

Художественный и технический редактор
Коровин И. Н.

Менделеева Е. А., Морозова Н. И.

М 50

Органическая химия. Часть 1. Теория строения органических веществ. – М.: Школа имени А. Н. Колмогорова, Издательство Московского университета, 2000. – ___ с.
ISBN 5–211–02588–1

ISBN 5–211–02588–1

© Е. А. Менделеева, Н. И. Морозова, 1997 г.

© И. Н. Коровин – оформление, 2000 г.

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 при-

родных 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 – мочевины 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. Собрав продукты реакции и измерив их количества, можно определить, в каких соотношениях элементы входят в состав исходного вещества.

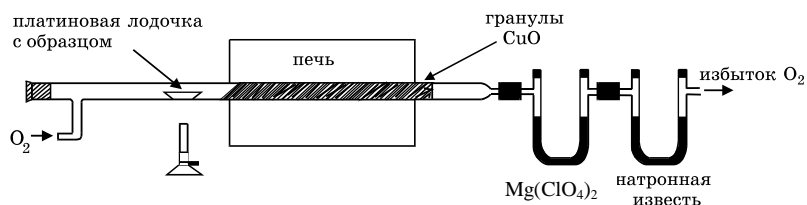


Рис. 1. Схематическое изображение установки для сжигания, используемой при определении углерода и водорода.

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: $C_xH_yO_z$. 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:

$$n_{CO_2} = \frac{0,88 \text{ г}}{44 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль } CO_2 \text{ и}$$

$$n_{H_2O} = \frac{0,54 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 0,03 \text{ моль } H_2O.$$

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:

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

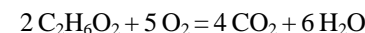
$$n_{\text{O}} = \frac{0,32 \text{ г}}{16 \text{ г/моль}} = 0,02 \text{ моль}.$$

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 уче-

ные для определения молярных масс веществ используют физический метод – масс–спектрометрию.

К семинару Вы должны знать

- что изучает органическая химия;
- какие соединения называют органическими;
- что такое анализ и синтез;
- что такое молекулярная и простейшая формулы;
- как по результатам элементного анализа органического соединения рассчитать его состав.

Домашнее задание к семинару

1. Как вы думаете, что является общим у таких неорганических веществ, как сероводород, вода, йод и органических соединений? Чем они отличаются от поваренной соли и алюминия?

2. Вспомните, какие элементы, кроме углерода, способны образовывать цепочки из одинаковых атомов? Как Вы думаете, почему у этих элементов нет такого разнообразия соединений, как у углерода?

3. Какие вещества, по вашему мнению, лучше всего использовать в элементном анализе органических соединений для поглощения воды и углекислого газа?

4. При полном сгорании 2,66 г вещества получилось 1,54 г углекислого газа и 4,48 г оксида серы (IV). Найти простейшую формулу этого вещества.

5. Газообразное соединение азота и водорода содержит 12,5 % водорода по массе, а плотность его паров по водороду равна 16. Найти молекулярную формулу этого соединения.

6. В состав винного спирта входят углерод, водород и кислород. Определите его молекулярную формулу, если известно, что при сгорании 1,38 г этого соединения образуется 2,64 г углекислого газа и 1,62 г воды, а плотность его паров по воздуху равна 1,59.

7. При сжигании 3,15 мг органического вещества образовалось 10,81 мг углекислого газа и 1,79 мг воды. Рассчитайте содержание (в процентах по массе) углерода и водорода в образце и его простейшую формулу. Какова молекулярная формула этого вещества, если известно, что плотность его паров по водороду составляет 64.

8. При сжигании 3,00 г антрацита получено 5,3 л углекислого газа (н. у.). Сколько процентов углерода по массе содержит антрацит?

История развития представлений о химической связи. Теория Бутлерова. Изомерия

Итак, к середине XIX века ученые определили состав и изучили свойства многих органических соединений, обнаружив при этом удивительнейшие вещи. Оказалось, что десятки совершенно различных веществ содержат в своем составе атомы одних и тех же элементов: углерода, водорода и кислорода, различно лишь их соотношение. Например, состав винного спирта – C_2H_6O , уксусной кислоты – $C_2H_4O_2$, глицерина – $C_3H_8O_3$, а фенола – C_6H_6O . Более того, было обнаружено, что существуют разные соединения, у которых одинаков не только качественный, но и количественный состав! Так, два разных вещества – глюкоза и фруктоза – описываются одной и той же формулой $C_6H_{12}O_6$. Берцелиус предложил такие соединения называть изомерами (от древнегреческих слов ἴσος – равный и μέρος – часть, доля), а явление существования изомеров – изомерией. Но разумных объяснений этого не было.

Для того, чтобы органическая химия могла развиваться дальше, необходимо было систематизировать все это множество соединений, навести порядок в знаниях о них. Было замечено, что органические вещества можно сгруппировать в семейства, классы соединений с похожими химическими свойствами. Так, химикам были известны классы спиртов, органических кислот, аминов и т. д. У соединений одного класса, как выяснилось, похожи не только свойства, но есть общее и в составе. Все спирты, например, похожи на воду H_2O , у которой один из атомов водорода заменен на так называемый органический радикал – группу атомов, состоящую из нескольких атомов углерода и водорода (CH_3OH , C_2H_5OH , C_3H_7OH и т. д.). Более того, многие свойства спиртов напоминают свойства воды. К тому же было замечено, что состав «соседних» членов всех химических семейств отличается друг от друга на группу $-CH_2-$, которую называли гомологической разностью. Ряды веществ с похожими свойствами и составом соседних членов, отличающимся на группу $-CH_2-$, – это гомологические ряды, а члены ряда по отношению друг к другу являются гомологами. Но как же построены сами органические радикалы было неясно.

Возможность описать строение органических молекул появилась после того, как английский химик Э. Франкланд в 1852 г ввел понятие «валентность». Он считал, что каждый атом обладает способностью соединяться с другими атомами с помощью определенного, характерного для этого атома, числа связей. Это число он назвал валентностью (латинское слово *valentia* означает сила). Так, атом водорода образует лишь одну связь, то есть он одновалентен, атом кислорода в соединениях двухвалентен и т. д. Немецкий

ученый Кекуле предположил, что атомы углерода в органических соединениях имеют валентность, равную четырем. А эти четырехвалентные атомы углерода могут соединяться друг с другом и образовывать цепи. Кекуле даже попытался представить строение простейших органических молекул. По словам Кекуле, идея о том, что атомы могут объединяться в цепи, пришла ему в голову, когда он задремал в омнибусе. Вот как он сам это описывает:

«...я видел, как два атома меньшего размера соединялись, образуя пару, как атом большего размера заключал два меньших в объятия, а атомы еще большего размера удерживали вместе по три или даже по четыре меньших атома, и при этом они вместе продолжали двигаться в головокружительном танце. Я видел, как атомы большего размера образовывали цепи, увлекая за собой атомы меньшего размера».

Таким образом, в органической химии сложилась очень странная ситуация. Было известно уже практически все для объяснения строения органических соединений. Но многие химики, в том числе и Кекуле, не верили, что можно понять, как построены вещества. Более того, для ученых того времени вовсе не очевидна была реальность существования атомов и молекул. Для того чтобы, наконец, разобраться в этом вопросе, был необходим критический взгляд на господствовавшие в химии представления. Человеком, который смог преодолеть влияние авторитетов и сформулировать основные положения теории строения органических соединений, стал молодой российский ученый Александр Михайлович Бутлеров. Вот как он сам описал основную идею своей теории в 1861 году: «Химическая натура сложной частицы определяется натурой элементарных составных частей, количеством их и химическим строением». Используя современные, более привычные нам термины, можно сформулировать это так: *свойства молекулы определяются свойствами атомов, составляющих ее, их количеством и химическим строением молекулы.*

Сущность теории строения органических соединений состоит в следующем:

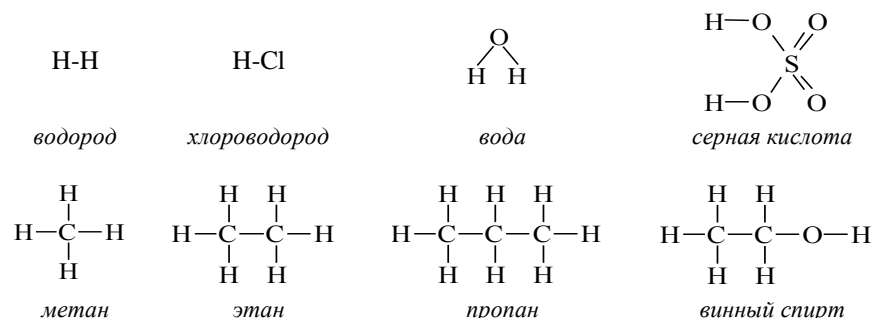
1. *Атомы в молекуле расположены не хаотически, а в определенном порядке друг относительно друга в соответствии с их валентностью. Последовательность расположения атомов в молекуле называется ее химическим строением.*

2. *Атомы в молекуле оказывают друг на друга взаимное влияние, от которого зависят свойства веществ.*

3. *Химическое строение вещества можно выразить формулой и установить экспериментально, изучая его химические и физические свойства.*

А. М. Бутлеров ввел понятие «химическое строение молекулы», под которым имеется в виду порядок соединения атомов в молекуле. Сразу отметим, что сейчас обычно употребляют термин «строение молекулы», не используя определение «химическое». Дело в том, что во времена Бутлерова порядок расположения атомов в молекуле можно было определить, изучая химические свойства вещества. В наше время определить реальное положение атомов в молекуле дают возможность не только химические, но и физические методы. Поэтому лучше употреблять термин «строение молекулы».

Теория строения, хотя и была разработана для объяснения свойств и многообразия органических соединений, справедлива для всех ковалентно построенных веществ. Формулы, отражающие порядок связи атомов в молекуле, называют структурными формулами. Ковалентную связь в них изображают черточкой. Ниже приведены структурные формулы для некоторых неорганических и органических веществ:



Часто такие формулы для удобства заменяют сокращенными структурными формулами, в которых не расписаны связи между углеродом и водородом:

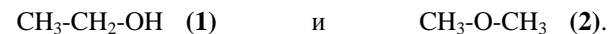


Конечно, структурные формулы не отражают реальное расположение атомов в молекуле, ведь при их написании чаще всего не учитывают соотношение длин связей и реальные углы между ними.

Для того чтобы понять, что такое взаимное влияние атомов, посмотрите на формулы молекул водорода и хлороводорода. В молекулы обоих соединений входит атом водорода, но свойства его, в зависимости от соседнего атома, сильно различаются.

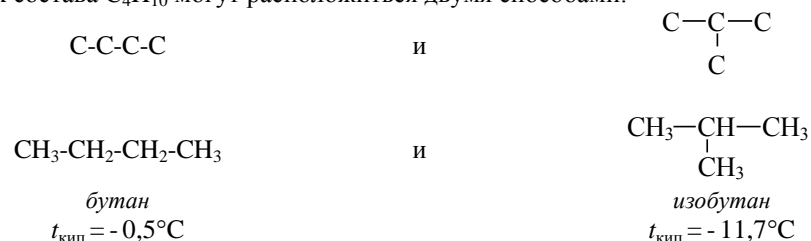
В молекулах влияют друг на друга и атомы, непосредственно между собой не связанные: и в воде, и в серной кислоте водород связан с кислородом, однако как отличаются его свойства в этих соединениях! В курсе органической химии мы часто будем говорить о взаимном влиянии атомов в органических соединениях.

На основании теории строения А. М. Бутлеров смог объяснить существование явления изомерии – существования различных веществ, обладающих одинаковым составом. Например, известны два различных вещества состава $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ – этиловый спирт и диметиловый эфир. Они отличаются по своим физическим и химическим свойствам. Для этих веществ можно написать две различные структурные формулы:



Научная теория может считаться справедливой только в случае, если с ее помощью можно не только объяснить известные раньше факты, но и пред-

сказать неизвестные явления. Бутлеров доказал справедливость своей теории так. В то время было известно одно вещество состава C_4H_{10} – бутан. Он предсказал существование еще одного вещества такого состава – изобутана – и затем синтезировал его. Действительно, атомы углерода в соединениях состава C_4H_{10} могут располагаться двумя способами:



Итак, **изомеры** – это вещества, обладающие одинаковым составом, но разным строением. Подчеркнем, что изомеры – это разные вещества, их физические и химические свойства могут различаться. Так, у бутана и изобутана отличаются температуры плавления и кипения, и в химические взаимодействия они вступают с разными скоростями. Количество изомеров с увеличением количества атомов углерода в молекуле быстро возрастает. Так, возможно существование трех изомеров состава C_5H_{12} , пяти – состава C_6H_{14} , 75 – состава $C_{10}H_{22}$.

Существуют изомеры различных типов. Если изомеры различаются по тому, как соединены атомы углерода между собой, то такая изомерия называется **изомерией углеродного скелета**. Этот тип изомерии проявляется, например, у бутана и изобутана.

Рассмотрим возможные изомеры соединения C_3H_7Cl . Атомы углерода могут быть соединены единственным способом, однако атом хлора может располагаться в двух различных положениях – у крайнего и у среднего атома углерода:



Такой тип изомерии называют **изомерией положения заместителя**. Изучая классы органических соединений вы встретитесь с другими видами изомерии – оптической, геометрической, изомерией положения кратной связи и т. д.

Изучив химические свойства вещества, можно однозначно определить его строение. Это положение теории А. М. Бутлерова сыграло огромную роль в развитии органической химии. Как уже упоминалось, большинство химиков того времени не верили в возможность понимания устройства молекул. Немецкий ученый Кольбе, очень много сделавший для развития органической химии, писал: «...мы никогда не получим ясного представления о том, как отдельные атомы расположены один относительно другого». С помощью теории строения стало возможно на основании изучения свойств вещества приписать ему одну-единственную структурную формулу.

Давайте вернемся к примеру, посвященному веществам состава C_2H_6O .

Мы написали две возможные структурные формулы (1) и (2), но как разобраться, какая из них принадлежит винному спирту, а какая – эфиру? Можно попытаться сравнить свойства этих двух веществ. Так, известно, что винный спирт хорошо растворяется в воде и реагирует с натрием, выделяя водород, а эфир не взаимодействует с натрием и в воде растворим намного хуже. Проанализируем написанные структурные формулы. Вещество, обладающее структурной формулой (1) имеет в своем составе группу –ОН. Видимо, по своим свойствам оно будет больше похоже на воду (Н-О-Н), чем вещество (2). То есть вещество со структурой (1) вероятнее будет реагировать с натрием. Оно же и в воде должно лучше растворяться. Следовательно, структурная формула винного спирта – это формула (1), а диметилового эфира – (2).

Строение вещества устанавливают, изучая его химические свойства с помощью так называемых **качественных реакций**, то есть реакций, при которых происходят хорошо заметные изменения: выпадает осадок, выделяется газ, меняется цвет и т. д. Например, вам известна реакция на ионы галогенов – выпадение осадка при добавлении раствора нитрата серебра. Существуют качественные реакции и на разные классы органических соединений, и вы их будете изучать в курсе органической химии.

Современные химики изучают строение молекул не только используя качественные реакции, но и при помощи различных физических методов. Так, при облучении светом определенной длины волны или в магнитном поле вещества разного строения ведут себя по-разному. На изучении свойств веществ, подвергающихся таким физическим воздействиям, основаны методы инфракрасной и ультрафиолетовой спектроскопии, а также ядерного магнитного резонанса. Если вещество бомбардировать пучком электронов (почти таким, как в нашем телевизоре), молекула не выдерживает воздействия и разваливается на куски – более мелкие заряженные частицы, которые с помощью прибора масс-спектрометра – научились сортировать по массам и «взвешивать». Анализируя, какие кусочки образуются из молекулы, ученые «собирают» молекулу как головоломку-мозаику. Вам наверняка хоть раз в жизни делали рентгеновский снимок. А фотографируя в рентгеновских лучах кристаллы, ученые определяют расстояния и углы между атомами.

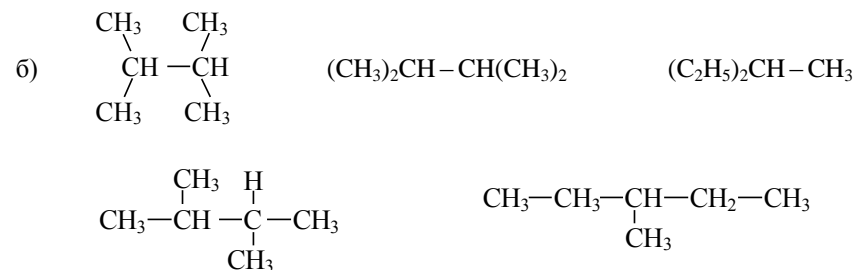
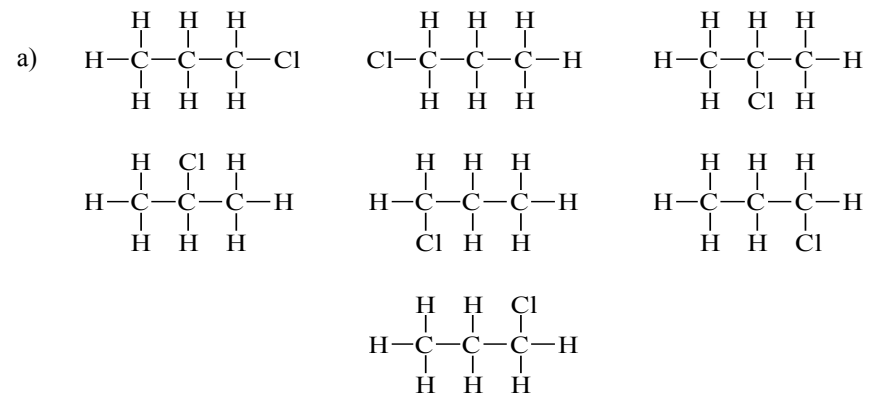
Таким образом, теория строения органических соединений дала толчок бурному развитию органической химии, методов синтеза и анализа органических соединений. И, несмотря на то, что с тех пор представления о природе химической связи значительно углубились, эта теория не потеряла своего значения и до настоящего времени.

К семинару вы должны знать

- основные положения теории строения А. М. Бутлерова;
- что такое изомеры;
- что такое структурные формулы.

Домашнее задание к семинару

1. Сколько веществ изображено следующими формулами:



2. Может ли существовать соединение с молекулярной формулой C_3H_5 ?

3. Возможно ли существование углеводородов с нечетным количеством атомов водорода в молекуле?

4. Напишите структурные формулы всех изомеров состава $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ и C_6H_{14} .

Электрон в атоме

Хотя структурными формулами в том виде, как их изображал А. М. Бутлеров, мы пользуемся до сих пор, представления о том, что же такое химическая связь, почему атомы держатся друг за друга, у ученых XIX века еще не было. До 1897 года, когда опыты по изучению электрического поля привели к открытию электрона, считалось, что атом неделим. Первооткрывателем электрона – отрицательно заряженной частицы, входящей в состав атома, – считается английский физик Джозеф Томсон. Этот ученый предложил первую модель строения атома, похожую на булку с изюмом: маленькие электроны расположены внутри большого, рыхлого ядра. Позднее был определен заряд электрона. Он равен $-1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Но уже через несколько лет Эрнест Резерфорд экспериментально доказал, что эта модель неверна.

Резерфорд проводил опыты по исследованию проникающего излучения, которое постоянно испускают кристаллы некоторых веществ. Мария Склодовская–Кюри назвала это явление **радиоактивностью** и доказала, что это свойство не вещества, а элемента. Так, радиоактивность атома урана не зависит от того, в составе какого химического соединения он находится. Радиоактивное излучение имеет сложную природу. По тому, как лучи отклонялись в магнитном поле, их назвали альфа- (положительный заряд), бета- (отрицательный заряд, позднее было доказано, что это – поток электронов) и гамма- (незаряженное) излучения. Резерфорд пропускал поток альфа-частиц через очень тонкую (400 нм, 1000 слоев атомов) золотую фольгу. Если бы была справедлива модель Томсона, поток бы проходил через золотую пленку, почти не меняя направления. Однако некоторые частицы (примерно одна из 8 000) отклонялись на большие углы или даже поворачивали обратно, как бы наталкиваясь на препятствия. Резерфорд говорил, что «это почти так же невероятно, как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в листок бумаги, а снаряд вернулся и попал в вас».

Чтобы объяснить свой опыт, Резерфорд предложил модель атома, похожую на Солнечную систему: вокруг маленького тяжелого положительно заряженного ядра летают легкие отрицательно заряженные электроны. Диаметр ядра составляет всего 10^{-10} диаметра атома. Если представить себе, что линейные размеры участка фольги увеличатся в миллиард раз, то толщина стопки атомов будет 60 см, но при этом почти вся масса будет сосредоточена в ядрах атомов, сумма диаметров которых всего 0,025 мм. Масса электрона составляет всего $\frac{1}{1837}$ от массы атома водорода.

Но оказалось, что модель Резерфорда не могла объяснить некоторых фактов. Так, известно, что вращающаяся заряженная частица должна испускать энергию и, в конце концов, упасть на ядро. Но атом частица стабильная и постоянно энергию не испускает.

Кроме того, модель атома Резерфорда не давала объяснения некоторым спектральным данным.

Известно, что солнечный свет, пропущенный через призму, превращается в радугу – набор плавно переходящих друг в друга цветов. Это явление впервые открыл И. Ньютон. Он назвал подобную радугу *spectrum* – видение (лат.). Подобную радугу можно получить с помощью призмы и от лампы накаливания.

Человеческий глаз воспринимает излучения разной частоты как разные цвета. Частота излучения прямо пропорциональна его энергии. Частота и, соответственно, энергия излучения увеличиваются при переходе от красного света к фиолетовому. Невидимое глазом излучение с частотой меньшей, чем красное, называют инфракрасным излучением, а излучение с частотой большей, чем фиолетовое, – ультрафиолетовым. Радуга – спектр, полученная от дневного света и от лампы накаливания, содержит и ультрафиолетовое и инфракрасное излучения.

Некоторые газы при пропускании через них электрического тока светятся яркими цветами – это явление сейчас используется для рекламных вывесок. Если излучение от газоразрядной лампы пропустить через призму, то спектр не будет непрерывным набором плавно переходящих друг друга цветов, как у дневного света. Он будет выглядеть как несколько разноцветных узких полосок. То есть, спектр газа, в отличие от спектра дневного света, содержит излучения не всевозможных, а строго определенных частот. Такой спектр назвали **линейчатым**. Атомы каждого элемента дают определенный спектр, присущий только данному элементу. На этом свойстве атомов основан метод анализа веществ – спектральный анализ. Модель атома Резерфорда не позволяла объяснить существование линейных спектров.

Чтобы преодолеть противоречия модели строения атома, Нильс Бор предположил, что законы микромира отличаются от законов макромира. Для описания поведения электрона в атоме Бор объединил ядерную модель атома с квантовой теорией света, разработанной Максом Планком. Планк доказал, что лучистая энергия поглощается и испускается телами не непрерывно, а дискретно, то есть отдельными порциями – квантами. Энергия каждой такой порции связана с частотой излучения соотношением, которое называется уравнением Планка: $E = h\nu$, где h – константа, которую называют постоянной Планка.

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж}\cdot\text{с.}$$

Чтобы описать строение атома, Бор ввел постулаты – утверждения, которые принимают без доказательств, как аксиомы в геометрии. Согласно постулатам Бора для электрона в атоме разрешены лишь определенные энергетические состояния – орбиты. Двигаясь по стационарным орбитам, электрон не излучает энергии. Электрон может поглотить квант света и перейти при этом на более удаленную от ядра орбиту. Энергия атома при этом

увеличится – он перейдет в так называемое **возбужденное состояние**. Переход электрона на более ближнюю орбиту сопровождается испусканием кванта (порции) излучения. Видно, что атом при этом может испускать излучение не любой частоты, а только такой, которая соответствует энергиям перехода электрона между орбитами.

Модель Бора не только объяснила природу атомных спектров, но также впервые позволила их рассчитывать. Вычисленная частота линий в простейших спектрах достаточно точно совпадала с экспериментальными данными. Однако теория Бора не объясняла полностью всех спектральных данных. Кроме того, необходимо было создать теорию, пригодную для непротиворечивого описания объектов как микро-, так и макромира.

Эта задача была решена в 20-х годах 20-го века после создания Вернером Гейзенбергом и Эрвином Шредингером новой области физики – квантовой механики. Квантовая механика исходит из предположения, что электрон, а также любой объект, обладающий очень маленькой массой и очень большой скоростью, одновременно является и волной и частицей. Шредингер вывел уравнение, объединившее свойства электрона как частицы и как волны. Решение уравнения Шредингера позволяет найти так называемую волновую функцию ψ . Через ψ -функцию описывается вероятность нахождения электрона в данной точке пространства и его энергия. Область пространства, где данный электрон может находиться с достаточно высокой вероятностью, называется орбиталью. Положение электрона точно определить невозможно, он как бы “размазан” по определенной области пространства, поэтому часто употребляют термин “электронное облако”.

Из решения уравнения Шредингера следует, что энергия электрона может принимать строго определенные значения. То есть, постулаты Бора вытекают из решения этого уравнения. Набор значений энергии определяется четырьмя целочисленными коэффициентами – так называемыми **квантовыми числами**. Важно понять, что квантовые числа невозможно описать никакими механическими и геометрическими аналогиями, поскольку квантовая механика не описывается законами классической физики.

Главное квантовое число n в основном определяет энергию электрона на данной орбитали. Оно определяет размеры электронного облака. Допустимые значения $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$.

Побочное (или орбитальное) квантовое число l может принимать значения $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$. Оно определяет форму электронного облака. Но что такое форма электронного облака? Ведь существует вероятность того, что электрон может оказаться в любой точке пространства. Но если провести поверхность так, чтобы внутри нее вероятность нахождения электрона была достаточно велика (скажем, 90%), то можно определить форму и размеры такой поверхности.

Если $l = 0$, орбиталь называется s -орбиталью, $l = 1$ – p -орбиталью, $l = 2$ – d -орбиталью, а $l = 3$ – f -орбиталью. Формы s - и p -орбиталей приведены на рис. 2.

Магнитное квантовое число m определяет ориентацию электронного облака в пространстве. Оно может принимать любые целочисленные значения в пределах $-l \dots +l$. То есть некоторому значению l соответствует $(2l + 1)$ возможных расположений электронного облака в пространстве. Так, для s -электронов ($l=0$) возможно только одно значение m , при $l=1$ (p -электроны) m принимает 3 возможных значения, при $l=2-5$ значений и т. д.

Спиновое квантовое число s принимает значения $+\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$.

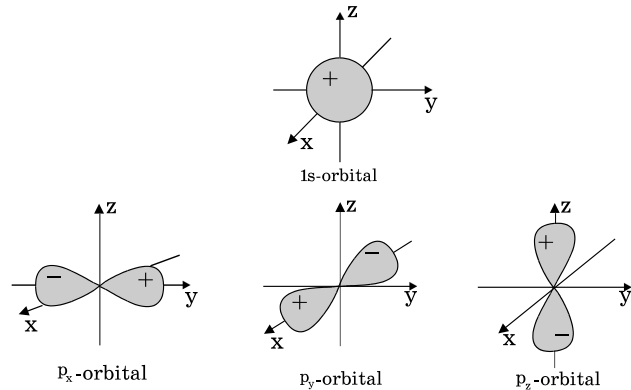


Рис. 2. Форма и пространственное расположение электронных облаков s - и p -электронов

Четыре квантовых числа полностью определяют положение электрона в атоме.

Строго говоря, описанный набор квантовых чисел описывает состояние электрона в атоме водорода. Точное решение уравнения Шредингера для многоэлектронных атомов получить достаточно сложно. Однако в большинстве случаев для описания состояния электронов в сложных атомах и молекулах применяют приближенное решение, согласно которому состояние каждого электрона в атоме определяется набором четырех квантовых чисел n, l, m, s . При заполнении электронных слоев выполняются следующие правила:

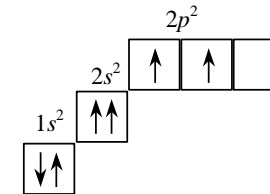
В атоме не может быть двух электронов, у которых все четыре квантовых числа одинаковы (принцип Паули).

Наиболее устойчивое состояние электрона в атоме соответствует минимальному значению его энергии. То есть, в невозбужденном состоянии электроны атома будут занимать орбитали, соответствующие как можно меньшим значениям энергии.

В пределах одного подуровня наиболее выгодно распределение электронов, соответствующее максимальному значению спина (правило Хунда).

Пользуясь этими правилами можно описать состояние электронов в атомах различных элементов. Например, атом углерода содержит 6 электронов. Минимальной энергии соответствуют значения $n=1, l=0$ и $m=0$. На этом уровне могут расположиться два электрона ($1s$ -электроны). На первом уровне больше электронов быть не может, поэтому следующие электроны заполняют уровень $n=2$. Число l при этом может принимать значения $l=0$

($m=0$) – это $2s$ -орбиталь, на которой располагаются еще 2 электрона, и $l=1$ ($m=-1, 0, +1$) – это три $2p$ -орбитали. Два электрона атома углерода расположатся на разных p -орбиталях, так, чтобы суммарное значение спинового числа было максимально. Схематически это обозначается так:



Орбитали условно обозначаются клеточками, электроны – стрелками, расположенными в них. На одной орбитали может располагаться не больше двух электронов. Разные значения спинов обозначают стрелками, направленными в разные стороны.

Анализируя электронное строение элемента можно предсказать многие его свойства.

К семинару вы должны знать:

- как представляли строение атома модели Д. Томсона и Э. Резерфорда;
- какие характеристики электрона рассчитываются с помощью уравнений квантовой механики;
- что такое орбиталь;
- уметь написать электронные структуры атомов и ионов элементов 1, 2, 3 периодов Периодической системы.

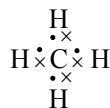
Домашнее задание к семинару

1. Сколько электронов содержится в 1 кг электронов? Суммарный заряд какого количества электронов составляет 1 Кл? Какова масса 1 моль электронов?
2. При работе лампы накаливания через нее проходит ток 1 А (Кл/сек). Сколько электронов проходит через нить накаливания за 1 мин?
3. Найдите в Периодической таблице как можно больше случаев нарушения Периодического закона в формулировке Д. И. Менделеева: химические и физические свойства элементов находятся в периодической зависимости от их массы. Чем объяснить эти нарушения?
4. Может ли электрон атома Na находиться на $2s$, $2d$, $3f$, $4s$, $5d$ – орбиталях?
5. Напишите электронные структуры атомов элементов 1 и 2-го периодов Периодической системы.
6. Напишите электронные структуры ионов Na^+ , S^{2-} , Mg^{2+} .

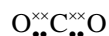
Природа химических связей (современные представления)

Только после открытия строения атома возникла теория, что химические связи имеют электронную природу. Большинство органических веществ построено с помощью **ковалентной связи**, поэтому речь в данной главе пойдет об особенностях этого типа химической связи.

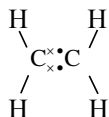
Для образования ковалентной связи каждый атом предоставляет в общее пользование по электрону. То есть, пара электронов принадлежит одновременно связываемым двум атомам, притягивает к себе оба атома. И связь, таким образом, можно в формуле обозначить как пару электронов. Мы получим при этом еще один вид записи формулы вещества – электронную формулу (формулу Льюиса). Например, для метана:



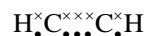
Если атомы связаны двойной связью, как, например, в молекуле CO_2 – то на такую связь затрачивается четыре электрона:



В органической химии тоже есть соединения с двойной связью. Наиболее простое из них – этилен C_2H_4 :

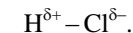


Возможно существование молекул и с тройной связью, образованной тремя парами электронов. Примером такого углеводорода является ацетилен – C_2H_2 .



Одним из очень важных свойств ковалентных связей является их полярность. Если связь образована одинаковыми атомами, например, в молекуле водорода $\text{H} \times \text{H}$ или между атомами углерода в молекуле этана $\text{H}_3\text{C} \times \text{C} \times \text{H}_3$, то электроны в равной степени принадлежат обоим атомам, и связь *неполярна*. Когда же ковалентная связь образована между двумя различными атомами,

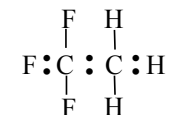
как в молекуле хлороводорода $\text{H}\overset{\times}{\underset{\times}{\text{Cl}}}$, электроны связи сильнее притянуты к более электроотрицательному атому, в данном случае к атому хлора $\text{H}(\overset{\times}{\text{Cl}})$. У атома хлора образуется, как часто говорят, избыток электронной плотности, и он отрицательно заряжен. Водород же, в свою очередь, заряжен положительно. Величины этих зарядов меньше, чем заряд целого электрона, поэтому их обозначают, используя маленькую греческую букву «дельта»:



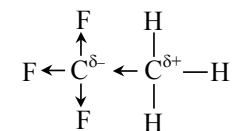
Часто чтобы отличить от целого заряда, такой заряд называют «дробным».

Чем больше разница между значениями электроотрицательности атомов, тем более полярна связь. И наоборот, хотя у метана связи образованы между разными элементами – углеродом и водородом, их электроотрицательности настолько близки (2,5 у С и 2,1 у Н), что электронная плотность связей распределена практически равномерно, и эти связи почти неполярны.

Однако электроны могут иногда быть распределены неравномерно, даже если связь образована между одинаковыми атомами. Рассмотрим такую молекулу:



Электроотрицательные атомы фтора «стягивают» на себя электронную плотность с атома углерода (часто это обозначают, рисуя вместо связи стрелочку в сторону более электроотрицательного атома). Следовательно, у атома углерода, связанного с атомами фтора, имеется недостаток электронной плотности, который он восполняет за счет соседнего атома углерода.



Таким образом, пара электронов между двумя атомами углерода в этой молекуле распределена неравномерно и, следовательно, связь полярна.

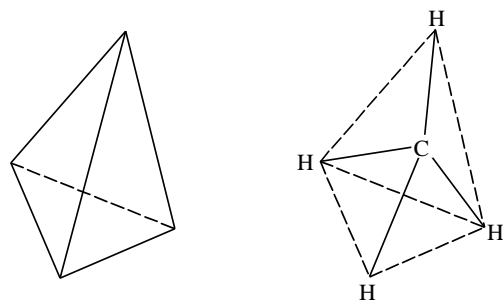
От электронного строения молекул зависят их химические свойства, поэтому анализ распределения зарядов в молекуле и того, как на эти заряды влияют соседние атомы, очень важен для объяснения их химической активности.

Важными характеристиками ковалентной связи, которые мы будем использовать, изучая органические соединения, являются ее длина и прочность. **Длина связи** – это расстояние между ядрами связанных атомов. Длина большинства ковалентных связей составляет от $1 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-10}$ м. Для сравнения: толщина человеческого волоса приблизительно равна 0,05 мм, что больше длины ковалентной связи в 500 000 раз. Прочность связи – это

энергия, которую необходимо затратить, чтобы разорвать эту связь. Обычно приводят данные не для одной связи, а на 1 моль – то есть, сколько потребуется энергии, чтобы разорвать $6,02 \cdot 10^{23}$ связей. Чем эта величина больше – тем связь прочнее. Так, например, энергия связи С-С составляет 347 кДж/моль, а энергия двойной углерод-углеродной связи С=C – 618 кДж/моль, то есть на полный разрыв двойной связи следует затратить больше энергии. Значит, двойная связь значительно прочнее простой.

С помощью структурных формул соединений мы выражаем *порядок* расположения атомов друг относительно друга, но в нарисованных на плоскости формулах не отражается информация о том, как же атомы в молекуле расположены друг относительно друга *в пространстве*. Еще в XIX веке были известны изомеры, существование которых нельзя объяснить, исходя из того, что молекулы плоские. Их открыл в 1844 г. французский химик Луи Пастер. Очень тщательно изучая под микроскопом кристаллы соли винной кислоты, Пастер обратил внимание, что по форме одинакова лишь половина кристаллов, а другая половина выглядит, как их отражение в зеркале. Он вручную разделил эти два вида кристаллов и изучил их свойства. Оказалось, у этих частей различно лишь одно свойство: их растворы обладают способностью вращать плоскополяризованный свет, но один раствор поворачивает плоскость поляризации вправо, а другой на тот же угол, но влево.

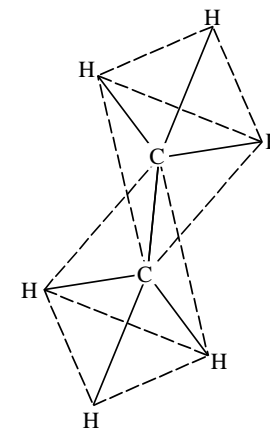
Голландский студент Якоб Хендрик Вант-Гофф в 1874 г. сделал вывод, что атомы в этих молекулах должны быть расположены так, чтобы молекула не имела ни плоскости, ни центра симметрии. Только в этом случае зеркальные изображения не идентичны (так, как правая и левая руки). Плоская молекула всегда будет совпадать со своим собственным изображением. Вант-Гофф сделал предположение, которое значительно позже подтвердилось с помощью физических методов исследования молекул, что молекула метана имеет *тетраэдрическое строение*. То есть она напоминает пакетик из-под молока или сока, в центре которого расположен атом углерода, а в вершинах находятся атомы углерода. Угол между связями в этой молекуле равен $109^{\circ}28'$.



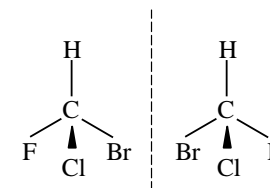
тетраэдр

молекула метана

Молекула этана C_2H_6 будет выглядеть, как два тетраэдра, соединенные вершинами:

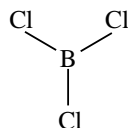


Условие асимметрии будет выполняться, если вокруг тетраэдрического атома углерода расположены четыре разных заместителя, как, например, в молекуле CHFCIBr . В этом случае, зеркальные отражения не будут совпадать:

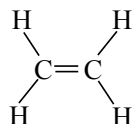
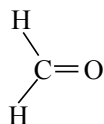
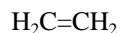


Одна из величайших загадок мироздания – существование зеркальных (оптических) изомеров в живых организмах. Дело в том что, синтезируя органические вещества из неорганических, химики всегда получают *смеси зеркальных изомеров*. Синтезировать один из двух изомеров из веществ, не содержащих асимметрический атом углерода, ученым не удастся. Но, в то же время, в живых организмах все асимметричные вещества находятся *только в одной из двух возможных зеркальных форм*. Как они образовались на Земле, если жизнь возникла случайно? Почему все природные аминокислоты – левовращающие, а углеводы правовращающие? На эти вопросы у человека ответов нет.

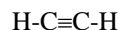
Объяснить тетраэдрическое расположение атомов в молекуле, ее «геометрию», можно, если попытаться представить себе, как наиболее «удобно» расположиться атомам водорода. Не забудьте, что связи образованы отрицательно заряженными электронами. То есть, одноименно заряженные электронные пары будут стремиться расположиться как можно дальше друг от друга. Если атома четыре – то они разойдутся по углам тетраэдра, три - разместятся в плоскости под углом 120° . Так расположатся атомы хлора, например, в молекуле BCl_3 – на наибольшем удалении друг от друга.



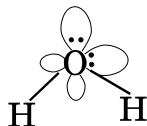
Атом углерода в органических соединениях четырехвалентен. Поэтому, три атома вокруг него могут располагаться только в том случае, если один из этих атомов связан с центральным атомом углерода двойной связью. В этом случае молекула будет треугольником с атомом углерода посередине:



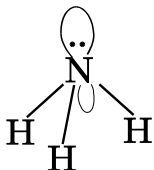
Как же расположатся две связи, максимально не мешая друг другу? Конечно, по одной прямой. Так, например, построены молекула CO_2 и молекула ацетилена.



Но мы знаем, что молекула воды построена уголком, не так, как молекула углекислого газа. Нет ли здесь противоречия? Нет, поскольку у атома кислорода есть еще две не поделенных электронных пары, которым так же, как и электронам связей, надо разместиться в пространстве. То есть, эти четыре пары (две принадлежащие кислороду и две – связям с атомами водорода) будут располагаться в пространстве по фигуре, близкой к тетраэдру.



По той же причине молекула аммиака NH_3 имеет неплоское строение. Она выгнута «зонтиком», в вершине которого расположен атом аммиака, потому что, помимо трех пар электронов, образующих связи азота с атомами водорода, у азота существует еще одна, не поделенная, пара электронов, которой тоже необходимо разместиться в пространстве:



Мы объяснили пространственное расположение атомов в молекуле, исходя из предположения, что образующие и не образующие связи электрон-

ные пары стремятся максимально оттолкнуться друг от друга. Это удобная, однако не единственная теория, позволяющая объяснить, почему атомы в молекуле расположены так, а не иначе. Так, в других учебниках вы можете встретить теорию гибридизации атомных орбиталей, позволяющую с других позиций также прийти к объяснению геометрии молекул.

Итак, рассматривая молекулу, мы представляем себе ее как модель собранную из конструктора, состоящего из определенным образом связывающихся между собой деталей – атомов. Каждый атом способен присоединить к себе строго определенное количество других атомов – в зависимости от того, сколько у него имеется валентных электронов. Связь образуется между двумя атомами с помощью двух электронов. Эти связи описываются с помощью таких характеристик, как длина связи, ее прочность, полярность и т. д. Связи эти направлены, то есть расположены под определенными углами друг к другу. Такой подход позволяет объяснить множество экспериментальных фактов в мире химии, он очень удобен, химики им очень широко пользуются, будем им пользоваться и мы.

Но, при этом надо помнить, что это *всего лишь одно из описаний строения молекулы, удобная модель*, но никак не истина. Представления человека об окружающем мире постоянно развиваются, накапливаются факты, не объясняющиеся теорией, которая еще несколько десятилетий назад могла казаться единственно верной. Люди придумывают более глубоко, более полно описывающие мир теории, и так будет до тех пор, пока развивается наука.

На самом деле, правильнее рассматривать молекулу не как систему, в которой электронные пары связи принадлежат отдельным атомам, а как систему, у которой все электроны являются общими для всех атомов. И такой подход – с позиций квантовой механики – действительно позволяет объяснить многие труднообъяснимые с точки зрения привычной модели факты. Но, чтобы сделать квантово-механические расчеты даже для такой простой молекулы, как метан, нужна мощная вычислительная машина. Поэтому приближенные теории, хорошо объясняющие многие (но не все!) факты, еще долго будут служить науке.

К семинару Вы должны

- знать, что такое ковалентная связь; основные характеристики ковалентной связи;
- вспомнить (или посмотреть в учебнике за 9 класс), что такое ионная, донорно-акцепторная и водородная связи;
- уметь определять электронное и пространственное строение простейших неорганических и органических молекул;
- знать, что такое асимметрический атом углерода.

Задачи с разбором

1. Расположите перечисленные молекулы по типу связи от наиболее ионной (слева) до наименее полярной ковалентной (справа): 1) HBr; 2) NaCl; 3) CsI; 4) BrCl₃

Решение. Ионная связь образуется между наиболее типичными металлами и неметаллами (атомами, сильно отличающимися по электроотрицательности). Если рассматривать только главные подгруппы Периодической системы, исключая инертные газы, то наибольшими неметаллическими свойствами обладают элементы правого верхнего угла таблицы Менделеева, а наибольшими металлическими свойствами – левого нижнего.

Из предложенного ряда соединения металла с неметаллом – NaCl и CsI. Цезий – более типичный металл, чем натрий, но хлор – более типичный неметалл, чем иод. Поэтому можно предположить, что степень ионности связи в этих соединениях примерно одинакова. Для более точного ответа необходимо привлечь численные значения электроотрицательности.

Соединения неметаллов с неметаллами имеют ковалентную связь. Бром и хлор находятся в одной группе Периодической системы, а значит, отличаются по электроотрицательности друг от друга меньше, чем от водорода. Поэтому связь в HBr более полярна, чем в BrCl₃.

2. Сколько электронов находится условно на внешнем уровне атома азота в молекуле NH₃? 1) 2; 2) 3; 3) 6; 4) 8.

Решение. Число электронов на внешнем уровне свободного атома элемента главной подгруппы Периодической системы равно номеру группы. Но здесь нам следует рассматривать не просто атом азота, а азот в молекуле аммиака, т. е. после образования трех ковалентных связей с водородом.

Связь образуется посредством электронной пары, один электрон которой предоставляет азот, другой – водород. Эта электронная пара теперь входит в электронную оболочку как азота, так и водорода. То есть, присоединяясь к атому азота, атом водорода приобретает электронную конфигурацию гелия (2 электрона), а атом водорода после присоединения трех атомов H получает от них три дополнительных электрона и приобретает электронную конфигурацию Ne (8 электронов).

3. Кристаллическая решетка кремния состоит из: 1) атомов; 2) ионов; 3) молекул; 4) электронов

Решение. Кремний – простое вещество, неметалл, а значит, его атомы образуют друг с другом ковалентные связи. У него на внешнем уровне 4 электрона, поэтому компактную молекулу Si₂ он в кристалле образовать не сможет, т.к. образование 4 связей между двумя атомами геометрически невозможно. Следовательно, в узлах решетки находятся не молекулы, а атомы, связанные друг с другом прочными ковалентными связями. Такой кристалл представляет собой как бы одну гигантскую молекулу Si_∞.

4. Выберите пример неполярной молекулы, имеющей полярную ковалентную связь: 1) азот; 2) вода; 3) метан; 4) аммиак; 5) дифторид бериллия.

Решение. Молекула, состоящая из атомов, связанных полярными ковалентными и даже почти ионными связями, может в целом оказаться неполярной, если будет симметрично построена.

Рассмотрим предложенные молекулы. Азот – неполярная молекула, и связь в нем неполярна. В воде связи полярны. Что можно сказать о форме этой молекулы? Вода имеет угловое строение из-за наличия у кислорода двух не поделенных электронных пар, которые наряду со связывающими электронными парами взаимно отталкиваются, образуя фигуру, близкую к

тетраэдру с атомом кислорода в центре. Такая же ситуация с аммиаком, только в нем три связывающих и одна не поделенная пара. А вот у метана все электронные пары, окружающие углерод, связывают его с атомами водорода. Отталкиваясь друг от друга, они образуют симметричную фигуру в виде тетраэдра, в углах которой – атомы Н, а в центре – С.

BeF_2 – ионное соединение, но вследствие поляризации можно считать связи Be-F сильно полярными ковалентными. У бериллия всего два электрона на внешнем уровне, поэтому во фториде бериллия вокруг атома бериллия две связывающих электронных пары. Отталкиваясь друг от друга, они занимают положения по разные стороны от атома бериллия, молекула получается симметричной.

5. В какой из приведенных молекул есть элемент, у которого не совпадают (по модулю) валентность и степень окисления? Укажите значение его валентности и степени окисления. 1) H_2O ; 2) NH_3 ; 3) O_2 ; 4) NH_4Cl .

Решение. Валентность – это число связей, образуемое атомом; степень окисления – это условный заряд, приобретаемый атомом при предположении, что все электроны полностью смещены к более электроотрицательному атому (иными словами, если бы все связи между неодинаковыми атомами были ионными). В отличие от валентности, степень окисления может быть отрицательной или дробной.

Вода имеет строение Н-О-Н. Кислород образует две связи, значит, его валентность равна 2; у водорода - 1. Из этих элементов более электроотрицателен кислород, следовательно, к нему смещены электроны от водорода. Когда у водорода удаляется отрицательно заряженный электрон, он приобретает заряд +1, такова его степень окисления в этом соединении. К кислороду электроны смещаются по двум связям, значит, его заряд (и, следовательно, степень окисления) –2. Величины степени окисления и валентности элементов в данном случае совпадают.

В случае NH_3 логика такая же. Валентность азота равна 3, степень окисления –3. Валентность водорода 1, степень окисления +1.

Атомы О в молекуле кислорода связаны двойной связью, значит, валентность кислорода равна 2. А степень окисления атомов в простом веществе нулевая, т. к. ни полярных, ни ионных связей в нем нет, и электроны никуда не смещаются.

Хлорид аммония – ионное соединение, состоящее из ионов NH_4^+ и Cl^- . Сразу ясно, что степень окисления хлора –1. Валентность для ионных соединений не имеет смысла, т. к. ионная связь ненасыщаема: каждый катион притягивает все близлежащие анионы, а любой анион связан со всеми близлежащими катионами. Но внутри иона аммония связи ковалентные. Азот связан с 4 атомами водорода, следовательно, его валентность 4. Степень окисления водорода +1, т. к. водород одновалентен и азот электроотрицательнее водорода. А как определить степень окисления азота? При образовании иона аммония к аммиаку присоединяется H^+ , не вносящий в связь своих электронов. Значит, смещение электронов от водорода к азоту происходит только по трем связям, и степень окисления будет –3. Можно использовать и другой способ. Заряд иона аммония +1, значит, сумма степеней

окисления составляющих его атомов должна быть +1:

$$\text{степень окисления (N)} + (4 \times \text{степень окисления (H)}) = +1.$$

Подставляем значение степени окисления водорода:

$$\text{степень окисления (N)} + (4 \times (+1)) = +1,$$

отсюда

$$\text{степень окисления (N)} = +1 - 4 = -3.$$

6. Представьте себе, что существует 4-атомная молекула, в которой каждый атом связан с тремя другими равными по длине связями. Какую форму имеет эта молекула?

Решение чисто геометрическое. Нужно найти объемную фигуру с 4 углами и одинаковыми по длине ребрами. Естественно, это тетраэдр.

Задачи для решения

1. Расположите перечисленные молекулы по типу связи от наиболее ионной (слева) до наименее полярной ковалентной: 1) HF; 2) Cl₂; 3) KCl; 4) H₂O.

2. Сколько электронов находится условно на внешнем уровне атома фосфора в молекуле PH₃?

3. Приведите пример неполярной молекулы, имеющей полярную ковалентную связь.

4. а) Может ли азот образовывать 5 связей? Почему?

б) Сколько связей образует азот в азотной кислоте HNO₃? Нарисуйте ее структуру.

в) Почему возможно существование соединений, в которых фосфор образует 5 связей? Как расположатся атомы хлора молекулы PCl₅ в пространстве?

5. Укажите валентность и степень окисления серы в H₂S, H₂S₂, SO₂²⁺, SO₂, H₂SO₄.

6. Почему, несмотря на благородную электронную конфигурацию, газы криптон, ксенон, радон могут при определенных условиях вступать в реакции?

7. Представьте себе, что существует 8-атомная молекула, в которой каждый атом связан с тремя соседними равными по длине связями. Какую форму имеет эта молекула?

8. Какие из молекул неполярны? а) HCl; б) H₂S; в) PH₃; г) SiH₄; д) BF₃; е) BeBr₂.

9. Из чего состоит кристаллическая решетка: а) CO₂; б) KI; в) Fe; г) SiC?

Классификация и номенклатура органических соединений (общие принципы)

Итак, органических соединений существует очень много. Они могут содержать только углерод и водород, а могут включать в себя группировки из других атомов. Атомы углерода могут соединяться между собой простыми (одинарными), или кратными – двойными и тройными связями. Цепочка из нескольких атомов углерода может даже замкнуться в цикл.

Для того, чтобы разобраться во всем множестве органических веществ, необходима их четкая классификация. Но систематизировать вещества можно по-разному. Что это значит? Например, коллекционер делит марки на группы, объединенные по какому-либо общему принципу: отдельно – изображения животных, отдельно – самолетов и т. д. Однако за основу своей классификации он может взять и любой другой принцип, например, разложить марки по странам, в которых они изданы, или по году выпуска, или по их стоимости. В результате получаются по-разному организованные коллекции, но ни одна классификация не хуже другой. Просто, в зависимости от целей коллекционера, одна из них может быть удобнее.

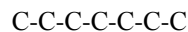
Органические вещества тоже можно систематизировать разными способами. Существует классификация органических веществ по их молярной массе. Так, соединения, молярная масса которых выше нескольких тысяч г/моль, называются **высокомолекулярными** соединениями (ВМС). Все соединения с меньшей молярной массой – это низкомолекулярные соединения. Соединения с высокой молярной массой обладают многими особыми, только для них характерными свойствами.

Органические соединения классифицируют еще по их **составу**. Вещества, состоящие только из углерода и водорода, называются *углеводородами*. Если в составе молекулы, помимо С и Н, присутствует кислород, то это *кислородсодержащее* органическое соединение, азот – *азотсодержащее*. Существуют фосфорорганические, сероорганические соединения и т. д. Но такая классификация явно недостаточна. В одну и ту же группу кислородсодержащих соединений попадут вещества с такими разными свойствами как, например, уксусная кислота, винный спирт, сахар и целлюлоза (вата или бумага).

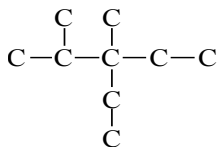
Мы знаем, что свойства вещества определяются его строением. Поэтому наиболее удобна классификация органических веществ по их **строению**. Вещества с похожими свойствами попадут в одни и те же **классы** – это группы веществ, сходных по своему строению и химическим свойствам.

Последовательность химически связанных атомов углерода в молекуле составляет ее *углеродный скелет*. Это основа органического соединения. Поэтому первым признаком классификации соединения является его клас-

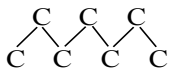
сификация *по скелету*. Скелет может быть *неразветвленным*, то есть все атомы углерода расположены в ряд, и *разветвленным*:



Неразветвленный скелет



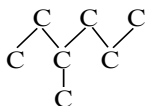
разветвленный скелет



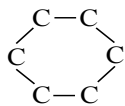
Иногда неразветвленный скелет называют линейным, однако, следует помнить, что структурные формулы, которыми мы чаще всего пользуемся, передают лишь порядок связи, а не реальное расположение атомов в пространстве. На самом деле, угол между двумя простыми связями у атома углерода тупой и составляет $109^{\circ}28'$. То есть, «линейная» углеродная цепь имеет в действительности зигзагообразную форму.

Более того, атомы вращаются вокруг связей. В результате этого вращения неразветвленная углеродная цепь может закручиваться в пространстве различными способами.

Скелет молекулы может быть ациклическим (атомы углерода не связаны в цикл) и циклическим:



ациклический скелет



циклический скелет

Кроме углерода скелет молекулы может включать другие атомы, образующие две или более связи с атомами углерода, например, O, S, N. Так, в винном спирте $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$ атом кислорода не включен, а в диметиловом эфире $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ включен в скелет молекулы. Такой скелет, в который, кроме атомов углерода входят другие атомы, называется *гетероатомным*, (приставка *гетеро-* по-латыни означает разный). Если другие атомы входят в состав цикла, то такое соединение называется *гетероциклическим*. Гетероциклические соединения широко распространены в природе и имеют огромное значение для жизнедеятельности растений и животных. Так, хлорофилл, с помощью которого растения связывают углекислый газ и выделяют кислород в атмосферу, - это гетероциклическое соединение, и нуклеиновые кислоты, ответственные за передачу наследственной информации в нашем организме, содержат в своем составе гетероциклы.

Следующим классификационным признаком является наличие в молекуле **кратных связей**. Органические вещества, содержащие только простые связи, называются предельными. Предельные углеводороды соответствуют общей формуле $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. Вещества, содержащие двойные или тройные связи, явля-

ются *непредельными*, на один атом углерода в их молекулах содержится меньшее число атомов водорода, чем у предельных органических соединений.

Как уже говорилось, органические вещества – это углеводороды и их производные. Производные углеводородов образуются при замещении атома водорода на какой-либо другой атом или группировку атомов. Такой атом или группировка атомов во многом определяет свойства вещества и поэтому называется *функциональной группой*. Кратные связи и функциональные группы определяют *класс* соединения. *Вещества, обладающие одинаковыми функциональными группами и (или) одинаковым набором кратных связей, имеют общие свойства и относятся к одному классу.*

Так, вещества, содержащие кратные связи, образуют класс близких по свойствам соединений: соединения с двойной связью имеют общее название *алкены*, с тройной – *алкины*. Соединения, не содержащие ни кратных связей, ни функциональных групп, также составляют отдельный класс органических веществ. Это – предельные углеводороды, или *алканы*.

Мы уже упоминали производные углеводородов с функциональной группой –ОН. Такая группа называется гидроксильной, а эти соединения относятся к классу спиртов: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ – винный спирт, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ – древесный спирт, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ – винный спирт и т. д.

Органические соединения могут включать не одну, а несколько разных функциональных групп, то есть относиться одновременно к нескольким классам соединений, иногда их даже выделяют в отдельные классы. Примером такого класса соединений служит очень важный для нашей жизнедеятельности класс углеводов, наиболее знаком нам представитель этого класса сахараза.

Итак, органические вещества классифицируют по нескольким признакам

- по молекулярной массе: низко- и высокомолекулярные соединения;
- по составу: углеводороды, кислородсодержащие, азотсодержащие соединения и т. п.;
- по типу скелета: линейные, разветвленные и циклические соединения с углеродным или гетероатомным скелетом;
- по наличию кратных связей и функциональных групп. Соединения, содержащие одинаковые кратные связи и функциональные группы обладают похожими свойствами и относятся к одним и тем же классам органических соединений.

Ученые, выделив или синтезировав какое-либо новое вещество, конечно же, дают ему название. Вы встретили уже достаточно много названий различных органических веществ. Некоторые названия, например, спирт и эфир, пришли к нам еще от алхимиков, очень многие вещества получили свои имена в девятнадцатом веке. Ученые называли полученные ими вещества, как хотели. Некоторые названия прямо указывают, из чего было впервые выделено данное вещество: винный спирт, гераниол, яблочная, шавелевая, муравьиная кислоты и т. д. Другие – отражают способ получения вещества: серный эфир (при получении использовалась серная кислота), или имя впервые открывшего их ученого, например, углеводород Чичибабина. Существуют даже романтические названия. Так, барбитуровая кислота была названа профессором Байером в честь его возлюбленной Барбары.

Видимо, вы немного растерялись. Столько веществ, у каждого свое название. Как же их все запомнить? В таблице 1 перечислено пятнадцать веществ, каждое со своим названием. А всего известно несколько миллионов различных органических веществ, и каждому нужно дать имя. Для сравнения: словарь русского языка С. И. Ожегова содержит около 57 тысяч слов, а реально в нашей речи мы обходимся 3–5 тысячами слов.

С этой же проблемой столкнулись в конце прошлого века и химики. Для того чтобы ученые могли понимать друг друга, необходимо было договориться о правилах составления названий органических соединений. Название должно соответствовать структурной формуле соединения, так, чтобы, зная структурную формулу вещества можно было написать его название и наоборот, по названию составить структурную формулу вещества. Такие правила – номенклатура органических соединений – впервые были приняты в 1892 г. в Женеве. Однако сразу разработать удобную, лишенную недостатков номенклатуру практически невозможно, поэтому существует несколько различных номенклатур органических соединений. Мы будем пользоваться современной, самой удобной и общепринятой на сегодняшний день номенклатурой, разработанной комиссией Международного союза по чистой и прикладной химии (IUPAC).

По номенклатуре ИЮПАК первые три алкана имеют уже упоминавшиеся исторические названия: метан CH_4 , этан C_2H_6 и пропан C_3H_8 . Название бутан принадлежит соединению C_4H_{10} с неразветвленным углеродным скелетом. Названия неразветвленных алканов, содержащих пять и более атомов углерода в молекуле, происходят от греческих числительных. К корню, указывающему число углеродных атомов в молекуле, добавляется суффикс **-ан**. Чтобы научиться пользоваться номенклатурой органических соединений, необходимо запомнить названия неразветвленных углеводородов, содержащих до 10 атомов углерода в молекуле (см. Таблицу 1).

Таблица 1

Названия и физические свойства некоторых алканов					
Значение n в формуле $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$	Название вещества	Молекулярная формула	Структурная формула	Температура плавления °С	Температура кипения °С
1	Метан	CH_4	CH_4	-182	-162
2	Этан	C_2H_6	$\text{CH}_3\text{-CH}_3$	-183	-89
3	Пропан	C_3H_8	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	-188	-42
4	Бутан	C_4H_{10}	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_2\text{-CH}_3$	-138	-0,5
4	Изобутан (2-метилпропан)	C_4H_{10}	$(\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_3$	-160	-12
5	Пентан	C_5H_{12}	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_3\text{-CH}_3$	-130	36
5	Изопентан (2-метилбутан)	C_5H_{12}	$(\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_2\text{-CH}_3$	-160	28
5	Неопентан	C_5H_{12}	$\text{C(CH}_3\text{)}_4$	-17	9

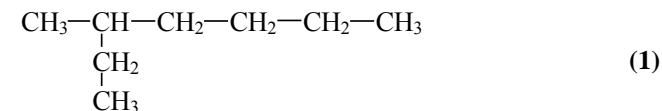
	(2,2- диметилпропан)		$\text{CH}_3-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_3$		
6	Гексан	C_6H_{14}	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}_3$	-95	69
7	Гептан	C_7H_{16}	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$	-91	98
8	Октан	C_8H_{18}	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_6-\text{CH}_3$	-57	126
9	Нонан	C_9H_{20}	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$	-51	151
10	Декан	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_8-\text{CH}_3$	-30	174
16	Гексадекан	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{CH}_3$	18	288
20	Эйкозан	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{18}-\text{CH}_3$	36,7	343

Обратите внимание на то, что названия всех предельных углеводородов оканчиваются на суффикс *-ан*. Суффикс *-ан* в названии означает, что вещество принадлежит к классу алканов. При обозначении других классов органических соединений суффиксы, а иногда и приставки, меняются.

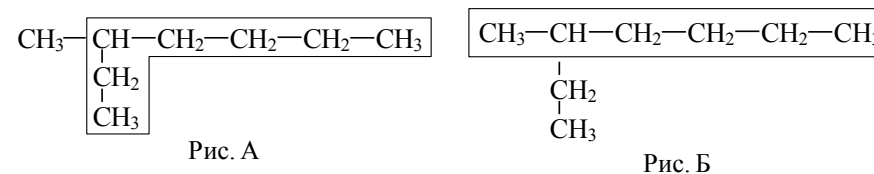
Наличие в соединении двойной связи обозначается суффиксом *-ен*, а тройной – суффиксом *-ин*.

Класс углеводородов	Суффикс в названии
алкан	<i>-ан</i>
алкен	<i>-ен</i>
алкин	<i>-ин</i>

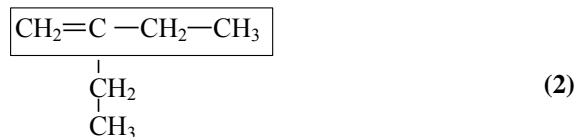
В основе названия любого разветвленного алкана лежит название алкана с неразветвленной цепью. При этом представляют, что углеродный скелет молекулы состоит из основной цепи, от которой отходят цепи боковые. В случае алканов основной всегда считают самую длинную, то есть состоящую из наибольшего числа атомов углерода, цепь. Например, в таком соединении:



основной является цепь из семи атомов углерода, выделенная на рисунке А. Цепь, обведенная в рамочку на рисунке Б – не главная, поскольку содержит всего шесть атомов углерода.

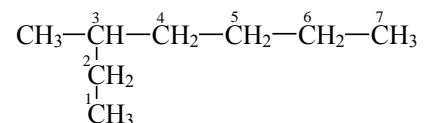


Для алкенов и алкинов основной всегда считают цепь, содержащую кратную связь. Пример, когда главная цепь – не самая длинная, иллюстрирует формула (2):

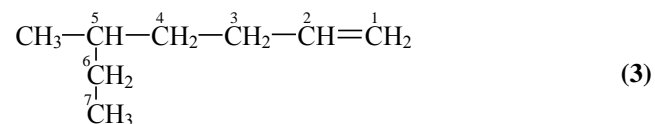


В основе названия лежит название неразветвленного углеводорода, содержащего столько же атомов углерода, сколько содержит основная цепь соединения. В данном случае основа названия вещества – гептан (основная цепь содержит 7 атомов углерода).

Теперь в названии необходимо отразить наличие ответвлений. Для этого атомы углерода основной цепи нумеруют, присваивая им порядковые номера. Сделать это можно двумя способами – с одного и другого конца цепи. **Нумерацию для алканов начинают так, чтобы номера тех атомов углерода, от которых отходит ответвление, были как можно меньше, а для соединений с кратной связью – так, чтобы эта связь получила наименьший номер.** В примере (1) разветвление находится в третьем положении углеродной цепи:



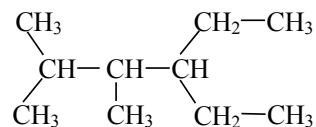
Если пронумеровать цепь с другой стороны, атому углерода, от которого отходит разветвление, будет принадлежать номер 5, поэтому такая нумерация неправильна. А в соединении (3) разветвление будет отходить от пятого атома углерода:



Боковые цепи соединений (1) и (3) содержат один атом углерода. Названия боковых цепей происходят от названий углеводородов с тем же количеством атомов углерода. Но суффикс *-ан* заменяется на суффикс *-ил*. Боковую цепь (ее еще иногда называют углеводородным заместителем или радикалом) состава CH_3- называют *метил*, CH_3-CH_2- *этил*, $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ *пропил* и т. д.

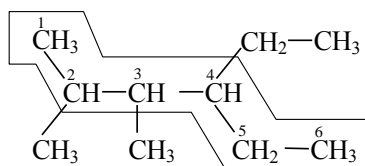
Итак, в соединении (1) заместитель метил расположен у третьего атома углерода. Для того, чтобы составить название алкана, сначала приводят названия боковых цепей вместе с их порядковыми номерами, а затем – название неразветвленного алкана, соответствующее числу атомов углерода в основной цепи. Поэтому соединение (1) – 3-метилгептан.

Пример 2. Дадим название соединению с той же молекулярной формулой, что и в предыдущем примере $C_{10}H_{22}$:



В этом соединении несколько цепей содержит по шесть атомов углерода (найдите их). В данном случае в качестве основной можно выбрать любую из них.

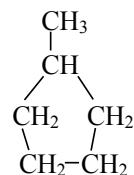
Нумеруем основную цепь, обведенную рамкой (другие цепи равноценны этой):



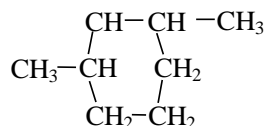
В молекуле оказалось два одинаковых заместителя метила (CH_3), содержащих по одному атому углерода, их обозначим диметил. В названии необходимо через запятую перечислить номера боковых цепей: 2,3-диметил. Кроме того, к атому углерода с номером 4 присоединена группа C_2H_5 -, которая называется этил. Поэтому полное название данного вещества: 2,3-диметил-4-этил-гексан.

Для обозначения соединений класса циклоалканов используют суффикс *-ан* и приставку *цикло-*. В качестве основной цепи выбирают цикл и нумерацию ведут по кругу.

Так, например, такое соединение:



называют метилциклопентан. Если заместитель в цикле один, то нумерация не нужна. Если же боковых цепей несколько, то одной из них всегда присваивают номер 1, а нумерацию ведут в таком направлении, чтобы сумма номеров у заместителей была наименьшей. Так, неправильно назвать следующее соединение 1-метил-5-этилциклогексан.



Верно составленное название – *1-метил-3-этилциклогексан*.

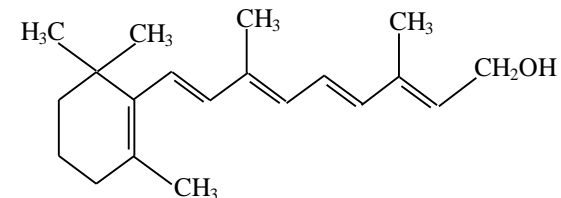
Несмотря на то, что существует точная и удобная номенклатура ИЮПАК, до сих пор очень часто применяют названия, возникшие исторически (тривиальные названия) или пришедшие из старых номенклатур. Обычно тривиальные названия имеют вещества, которые давно известны и часто используются в быту, медицине, промышленности. Вряд ли кто-нибудь уксусную кислоту станет называть этановой кислотой, хотя по номенклатуре ИЮПАК правильно именно это название. 2,2,4-триметилпентан, входящий в состав бензина, обычно в технике называют изооктаном. Хотя это название и неправильно с точки зрения номенклатуры ИЮПАК, но зато привычно.

Таких примеров можно привести много. Однако есть и еще одна причина, по которой химики не только сохраняют, но и придумывают новые тривиальные названия для многих веществ. Дело в том, что многие названия, составленные по правилам, часто оказываются очень длинными и труднопроизносимыми. Попробуйте, например, произнести такое слово:

9-(2,6,6-триметилциклогексен-1-ил)-3,7-диметил-нонатеتراен-2,4,6,8-ол-1.

Видимо, даже прочесть его не всем удастся с первого раза. А медикам приходится называть это вещество довольно часто. Поэтому они используют историческое название – витамин А (или ретинол).

Структурная формула витамина А:



Вот почему, изучая органическую химию, вам придется запоминать тривиальные названия некоторых широко применяющихся в быту и медицине соединений.

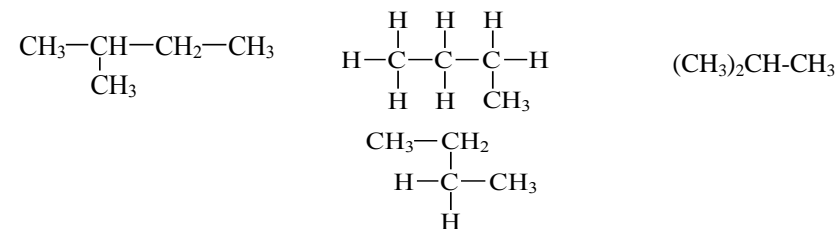
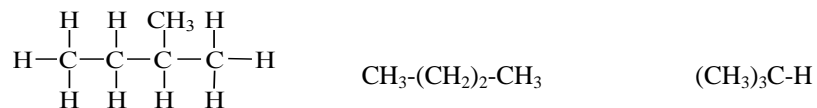
К семинару вы должны знать

- как классифицируют органические вещества,
- что такое функциональные группы,
- уметь по структурной формуле дать название углеводородам классов алканов, алкенов и циклоалканов.

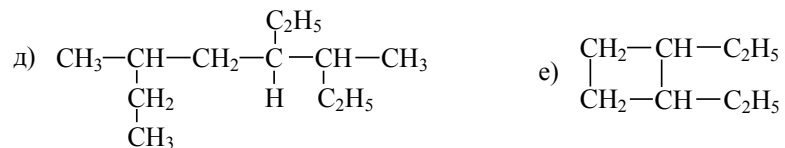
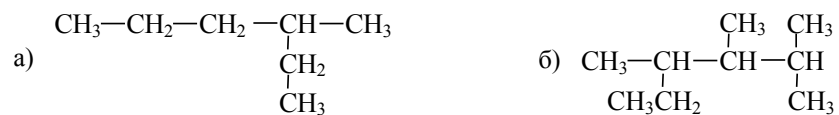
Домашнее задание к семинару

1. Соберите, пользуясь пластилином и спичками, модели различных углеродных скелетов (без атомов водорода) из шести атомов углерода. Помните про углы между связями. Повращайте «атомы углерода» вокруг связей. Какая молекула – с разветвленным или неразветвленным скелетом – может принимать более разнообразные формы?

2. Сколько различных веществ изображено следующими формулами? Назовите эти соединения по правилам номенклатуры ИЮПАК.



3. Назовите по правилам номенклатуры ИЮПАК следующие соединения:



4. Составьте структурные формулы следующих соединений:

- 2-метилпропан,
- 3,3-диэтилпентан,
- 2,2,3,4,5-пентаметилгептан,
- 2,4-диметил-4-пропил-5-этилдекан,
- 2-метил-3,3-диэтилгексен-1,
- этилциклогептан,
- 1,2,3,4,5,6-гексаметилциклогексан.

5. Составьте структурные формулы для всех изомеров состава C_7H_{16} и назовите эти соединения по номенклатуре ИЮПАК.

6. Найдите ошибки в следующих названиях, напишите структурные формулы соединений, о которых идет речь, и приведите правильные названия.

ния этих веществ:

- а) 1,3-диметилпентан,
- б) 2-этилбутан,
- в) 4-метилпентан,
- г) 2-метил-3-этил-4-метилгексан,
- д) 3-метилпропан,
- е) 1,4-диметилциклопентан,
- з) 2-этил-3, 4-диметилгептен-5.

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1

Предмет органической химии. Определение состава органических веществ	3
---	---

Лекция 2

История развития представлений о химической связи. Теория Бутлерова. Изомерия.....	9
--	---

Лекция 3

Электрон в атоме.....	15
-----------------------	----

Лекция 4

Природа химических связей (современные представления).....	20
---	----

Лекция 5

Классификация и номенклатура органических соединений. (общие принципы).....	29
--	----

*МЕНДЕЛЕЕВА Екатерина Александровна
МОРОЗОВА Наталья Игоревна*

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Часть 1

Художественный и технический редактор
И. Н. Коровин

Изд. лиц. № 040414 от 18.04.97

Подписано в печать 24.12.99. Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага офс. № 1.
Офсетная печать. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 4,0. Уч.-изд. л. 4,4.

Школа имени А. Н. Колмогорова
121357, Москва, ул. Кременчугская, 11
тел. 449-33-64
e-mail: adm@aesc.msu.ru

Ордена “Знак Почета” Издательство Московского университета
103009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7